COMPENDIO DI STORIA

DELLA

ASTRONOMIA

DI

ARTURO BERRY

TRADOTTO DALL'INGLESE

dal Dottor DIONISIO GAMBIOLI

CON DUE APPENDICI

sulle specole e sugli astronomi italiani dei tempi recenti

RIVEDUTA E CORRETTA

dall'astronomo ELIA MILLOSEVICH

Direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano

ROMA-MILANO

SOCIETÀ EDITRICE DANTE ALIGHIERI

DI

ALBRIGHI, SEGATI e C.

1907

INDICE

CAPITOLO VII.

CAPITOLO VIII.

CAPITOLO IX.

CAPITOLO X.

CAPITOLO XI.

CAPITOLO XII.

CAPITOLO XIII.

PREFAZIONE DEL TRADUTTORE (1)

« L'étude du passé est le guide le plus sûr de l'avenir. »
G. L. BERTRAND.

L'Astronomia è la prima scienza induttiva che siasi formata, ed è di gran lunga la più antica delle scienze obbiettive, sicchè essa nella sua evoluzione precede tutte le altre. A grande distanza di tempo la seguono le scienze fisiche e le chimiche relativamente moderne; a distanza maggiore le scienze geografiche e le geologiche di origine recente; a distanza ancor maggiore le scienze biologiche, quasi a noi contemporanee rispetto alla loro origine.

La ragione dell'antichità dell'Astronomia sta nella natura stessa dei fenomeni fondamentali, che ne formano l'oggetto, i quali, più d'ogni altro, sono suscettibili di una espressione semplice e di essere misurati. Rispetto ai medesimi, l'uomo, che anch'esso è trascinato verso il ragionamento puro, e solo tardi e a malincuore si piega e si adatta all'osservazione positiva e sistematica, presto sentì che a nulla valgono le osservazioni accidentali, che il semplice accertamento dei fatti non basta a costituire la scienza, che nella ricerca dei rapporti esistenti fra i fatti sistematicamente osservati, che nella in-

(1) A prefazione di questa nostra traduzione si è voluto porre alcuni brani presi dall'opera L'*Astronomia del secolo* XIX *di* G. CALORIA, che fa parte della importante pubblicazione di F. Vallardi di Milano: *Il secolo* XIX *nella vita e nella cultura dei popoli.*

duzione delle leggi, dalle quali i fatti son governati, e delle cause dalle quali sono prodotti, che nel mettere le leggi stesse alla prova, paragonandone i risultati coi fenomeni della natura, sta la vera scienza. Così avvenne che l'Astronomia assai prima delle altre scienze trovasse la vera strada sulla quale avviarsi; così avvenne che essa contasse un' esistenza già secolare, quando le altre scienze accennarono a sorgere e ad affermarsi.

L'Astronomia è la scienza, nella quale l'accelerazione del progresso di secolo in secolo meglio si accentua e più colpisce. Da essa chiaro risulta, che nel mondo del pensiero tutto si collega, si coordina, s' intreccia; tutto è effetto ed a sua volta diventa causa. Le condizioni economiche e sociali, il sentimento e le credenze religiose, le arti e le industrie esercitano un'azione efficacissima sul pensiero scientifico e sulle scienze, e queste, a lor volta reagendo su quelle, ne determinano un progresso ulteriore ed un ulteriore perfezionamento.

I bisogni dei commerci e della navigazione, le industrie dei metalli, dei vetri, degli orologi eccitarono nell'Astronomia progressi rapidissimi; e questi, generando esigenze di precisione più e più grandi, determinarono, alla loro volta, progressi insperati nelle industrie più diverse, nell'arte di navigare, nella estensione dei commerci; il sentimento religioso sollevò in buona fede ostacoli formidabili alla Astronomia Copernicana; la riconferma che ognora questa trova nei fatti cosmici più certi e meglio osservati, l'accordo crescente delle opinioni, il consenso unanime nelle proposizioni stabilite da Copernico e dagli astronomi seguaci suoi, non poco contribuirono a quella tolleranza religiosa, sempre crescente, che è una delle caratteristiche principali della civiltà moderna.

Oggimai siam giunti a questo, che tutti i rami, nei quali l'attività nuova si esplica, le esplorazioni commerciali o geografiche, le industrie meccaniche e le chimiche, le scienze meno affini, le matematiche pure, le ricerche filologiche e storiche riguardanti i più antichi popoli della terra, la fisica, la spettroscopia, l'ottica, la fotografia, l'elettricità prestano

efficacissimo concorso all'Astronomia; di qui la rapida accelerazione del suo progredire, il campo delle ricerche sue ognora più vasto, la specializzazione delle ricerche stesse più e più necessaria; di qui la difficoltà e la complessività crescente di ogni sintesi, che all'odierna evoluzione astronomica si riferisca.

Già nel 1800, l'Astronomia era salita a grande altezza, e scienza principe veniva detta per unanime consenso: tanta era la solidità, la grandezza, la semplicità maestosa ed estetica dell'edifizio, che essa, in mezzo all'universale ammirazione, aveva saputo innalzare.

Da due e più mila anni era per essa tramontato il periodo favoloso, nel quale tanto più a lungo languirono la fisica, la chimica, la geografia, le scienze naturali, la storia. Sapevano gli eruditi che un giorno lo spirito umano di tutto ignaro, dominato dalla immaginazione, aveva sentito il bisogno di tutto animare e personificare, aveva popolato l'aria di genî e di fate, riempito l'universo di esseri sovrannaturali, adorato il vento, il tuono, le tempeste, s'era prostrato davanti agli astri come ad altrettanti dèi, davanti al Sole come al Dio supremo, regolatore delle stagioni, arbitro di tutto quello che sulla Terra esiste e vive, ma ogni traccia di meteorolatria e di astrolatria dalla scienza degli astri era scomparsa.

Da più che dugento anni essa aveva saputo infrangere le catene del dottrinarismo e sistematismo antico, che per tanti secoli aveva dominato sovrano, che in Astronomia aveva alle favole sostituiti sistemi falsi, per quanto fondati sopra speculazioni astratte, arditi e geniali; che, abbattuta l'astrolatria, aveva creato l'astrologia, non meno insussistente e non meno ingombra di pregiudizî; che pel mondo aveva architettati edifizî ingegnosissimi, i quali, peraltro, non avevano nulla a che fare con la realtà, nè punto riproducevano il quadro vero dell'universo.

L'Astronomia antica, per giungere ad una spiegazione razionale dei fenomeni celesti, aveva infatti pensato ad un

principio astratto, intorno al quale tutti si potessero accordare, e questo fu che la composizione del mondo dovesse essere ordinata secondo una legge unica e generale, che tutto in essa fosse governato da leggi geometriche, che tutto dovesse spiegarsi con moto circolare ed uniforme, che centro di ogni moto fosse la Terra, per la quale ammise che l'immobilità fosse la più sicura condizione di esistenza e di durabilità. Per tal modo era riuscita ad un dogmatismo astronomico, il quale, più che sui fatti cosmici, poggiava su principî astratti ammessi *a priori;* ad ingombrare lo spazio di sfere solide, cristalline, destinate a portare le stelle, questo o quell'astro errante; a trasformare il problema dell'universo in un complesso problema geometrico, irto di cerchi, di epicicli, di sfere e che, quanto più cercava di adattarsi ai fatti, anche imperfettamente osservati, tanto più si andava complicando.

Mancava all'Astronomia antica la chiave che doveva risolvere il maestoso problema cosmico, intorno al quale invano tanto sudò; mancavano ad essa i concetti di forza e di moto fondamentali della scienza meccanica; mancava la legge fisica della gravitazione universale, che toglie al problema dell'universo il carattere geometrico dall'antichità affermato, e lo trasforma in un problema dinamico. Fu Copernico (1473-1543) che primo additò agli astronomi le vie feconde del metodo induttivo; fu Ticone (1546-1601) che, con diuturne, sagaci e, pel suo tempo, molto precise osservazioni, diede a Keplero (1571-1630) mezzo di scoprire le formole dei movimenti planetari; fu Galileo (1564-1642), che dimostrando per il primo le leggi alle quali obbediscono, cadendo, i gravi, apprestò a Newton (1642-1727) le armi gloriose che lo dovevano portare alla scoperta della gravitazione universale.

Si deve soprattutto a questi uomini veramente immortali se l'Astronomia aveva cessato, nel 1800, di arrestarsi ai puri fenomeni apparenti; se i movimenti celesti avevano cessato di essere per essa un problema geometrico e quasi di prospettiva; se il mondo non era da tempo più ingombro di sfere

gigantesche solide e trasparenti; se lo spazio che ci circonda era ritenuto, quale realmente è, interamente sgombro di ostacoli materiali, se in esso gli astri liberamente librantisi avevano acquistato in Astronomia tutta quella completa libertà di movimento che hanno in natura; se nello spazio cosmico non rimanevano più, conformemente a realtà, che corpi in moto; se le tracce dei moti loro, simili a quelli dei nostri proietti, erano considerate, così come realmente sono, quali semplici linee ideali; se, come aveva affermato Keplero, si riteneva universalmente che « spherae solidae nullae sunt; planetae in puro aethere, perinde atque aves in aëre, cursus suos conficiunt ».

A sì mirabili risultati l' Astronomia era pervenuta a gradi a gradi nel 1800, in grazia di un lento lavoro secolare, di evoluzioni incessanti, osservando e riosservando, calcolando e ricalcolando, paragonando e riparagonando i risultati dei calcoli a quelli delle osservazioni, perfezionando via via i due grandi rami in cui essa può dividersi, l'Astronomia pratica o di osservazione, l'Astronomia teorica o matematica.

L' Astronomia pratica si proponeva allora, quasi esclusivamente, osservazioni di posizione dirette a determinare il posto da un astro occupato nello spazio in un dato istante di tempo; ma nel campo suo, che ora direbbesi limitato, aveva raggiunto un grado notevolissimo di precisione. Vi avevano specialmente contribuito la scoperta memorabile del pendolo applicato (1647) come regolatore agli orologi a peso, l' uso dei cannocchiali muniti di micrometro (1625-1667) negli strumenti destinati a individuare una direzione nello spazio e a misurare gli angoli compresi fra due o più direzioni, i progressi fatti verso il 1750, specialmente in Inghilterra, nell' arte di lavorare i metalli, di dividere i cerchi graduati, di fabbricare in generale strumenti di precisione.

Nella misura del tempo Tolomeo non riusciva ad evitare errori di dieci minuti primi; le grandi clessidre del medioevo a mala pena evitavano errori minori di cinque minuti primi;

le altezze del Sole e delle stelle, misurate con l'astrolabio degli antichi, non riuscivano a determinare un dato istante di tempo con errore più piccolo di un minuto primo; Evelio, che pure aveva a sua disposizione orologi a volante (1639-1683), a stento riuscì, nelle sue osservazioni di eclissi, a restringere gli errori riguardanti il tempo fra i venti ed i ventiquattro minuti secondi.

Col pendolo soltanto la scienza riuscì a tenere veramente in pugno il tempo, e a determinare ogni istante fugace di esso con una precisione che, prima della scoperta sua, sarebbesi ritenuta favolosa. Già in sul principio del secolo XVIII (1680-1720), gli astronomi, valendosi di orologi a pendolo, e misurando con quadranti oppure con sestanti mobili le altezze degli astri, riuscivano a fissare, nel limite di due minuti secondi, l'istante assoluto di un' osservazione. Un secolo più tardi, verso il 1800, tale errore era ridotto a meno di un minuto secondo, grazie sempre all'orologio a pendolo accoppiato con uno strumento dei passaggi, oppure con uno di quegli strumenti universali detti anche altazimut, costrutti con rara perfezione da artefici inglesi.

Nella misura di un angolo, nel determinare di quanto una direzione devia da altra ben determinata, gli Arabi commettevano errori di quattro e di cinque minuti primi di arco, e maggiori erano gli errori inevitabilmente commessi da Ipparco e dagli astronomi di Alessandria. Ticone commetteva ancora errori di un minuto primo d'arco; gli errori di Evelio oscillavano ancora fra i venti e i venticinque minuti secondi d'arco; solo dopo l'applicazione dei cannocchiali muniti di micrometro ai goniometri si riuscì a restringere entro angusti confini l'incertezza delle misure angolari.

Si ritiene in generale che la memorabile scoperta dei cannocchiali (1610) tragga l'importanza sua dalla maggior forza di penetrazione che per essa l'occhio umano acquistò; ma l'importanza sua non è minore, se anche solo voglia tenersi conto del perfezionamento che da essa venne alle osservazioni astronomiche tutte. I cannocchiali, si dice a ragione e

sovente, resero alla scienza possibile la conquista dello spazio universo; troppo di rado si aggiunge che è incalcolabile l' aumento di precisione che essi apportarono nelle osservazioni astronomiche, il perfezionamento che essi per ciò solo indussero in tutti i problemi dell' Astronomia.

Verso la metà del secolo scorso, i cannocchiali, accoppiati agli strumenti equatoriali di costruzione inglese, ai sestanti mobili e agli altri strumenti in uso, già permettevano di determinare una direzione nello spazio, dalla Terra ad una delle stelle del firmamento, con un errore di pochissimi minuti secondi di arco; in sul principio del secolo XIX, i cannocchiali, accoppiati ai quadranti murali di grande diametro, permettevano di determinare ogni linea diretta al cielo con un errore, che appena oscillava intorno ad un minuto secondo d' arco, e questi quadranti murali, di fabbrica inglese, furono anzi, negli ultimi decenni del secolo XVIII e nei primi del XIX, i migliori ed i più usati strumenti dell' Astronomia.

Si deve ai perfezionamenti dell' Astronomia pratica, durante il secolo XVIII, e alla esattezza sempre crescente delle osservazioni celesti durante il medesimo, se i fenomeni tutti del cielo, già nel 1800, erano dimostrati conformi nello svolgimento loro alle conseguenze tratte dal sistema Copernicano e dalle leggi meccaniche dimostrate; se da queste essi erano anzi spiegati in modo completo ed inatteso; se i movimenti della Terra, oggetto non lontano di dubbi, di opposizioni, di dispute non sempre obbiettive e serene, erano attestati dai fatti così in direzione come in grandezza; se l' aberrazione delle stelle fisse, scoperta da Bradley (1728), non lasciava più dubbio alcuno sul moto di traslazione della Terra nello spazio; se quest' ardua e secolare questione della rivoluzione della Terra intorno al Sole era attestata in modo inoppugnabile e sempre risolta da un effetto visibile e suscettibile di precisa misura della rivoluzione stessa.

L'Astronomia teorica era appieno confermata da questi risultati dell'osservazione e ne riceveva grando lustro; nes-

suna scienza sarà mai per gli uomini sorgente di maggiore e più legittimo orgoglio di quello che nel 1800 essa fosse. L'edifizio che Newton, con genio arditissimo, aveva abbozzato in ogni sua parte, era venuto perfezionandosi e completandosi per opera di matematici geniali e sommi, i quali, senza interruzione si erano andati succedendo durante tutto il secolo XVIII: Eulero, d'Alembert, Clairaut, Lagrange, Laplace. I due primi volumi della *Meccanica Celeste* di Laplace erano appunto usciti nel 1799, e in quest'opera immortale la teoria fisica o gravitazionale del sistema planetario riceveva uno svolgimento pressochè completo. Appena sarebbesi allora pensato che il sistema del Sole potesse esser campo di scoperte non lontane; si capiva, si ammetteva che lo studio del movimento di questo o di quel pianeta lasciava tuttora qualcosa a desiderare, che perfezionamenti ulteriori della teoria di questo o di quel corpo del sistema planetario erano possibili e necessarî; ma che il sistema stesso, preso nel suo insieme, potesse da non lontane scoperte essere ampliato, reso più complesso, pur restando un miracolo di ordine e di armonia, pochi avrebbero ammesso e forse nessuno avrebbe detto.

Il sistema del Sole, quale era uscito dalle menti e dalle osservazioni degli astronomi d'allora, aveva una semplicità inarrivabile ed un'idealità quasi geometrica. Nel centro il Sole; attorno, attorno, a distanze sempre maggiori e crescenti, i pianeti antichi Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, il pianeta recentemente scoperto da Guglielmo Herschel (1781), Urano; attorno alla Terra un satellite, la Luna; attorno a Mercurio, a Venere, a Marte nessun satellite; attorno a Giove quattro satelliti, le Stelle medicee scoperte da Galileo e Simon Marius (1610); attorno a Saturno un anello mirabile, interamente staccato dal corpo del pianeta, concentrico a questo e al pari di questo librantesi libero e sospeso nello spazio; al di là dell'anello sette satelliti; Titano, scoperto da Huygens (1665); Teti, Dione, Rhea, Iapeto, scoperti

da Cassini (1671-1684); Mimas ed Encelado, trovati da Herschel (1789); attorno ad Urano, due dei quattro satelliti ora noti, Titano ed Oberon, scoperti (1787) dallo stesso Herschel.

A questo riducevasi il sistema noto del Sole; si possedevano tavole, per mezzo delle quali era possibile calcolare, per un istante dato di tempo, le posizioni di Mercurio, di Venere, della Terra, della Luna, di Marte, di Giove, dei satelliti suoi, di Saturno, di Urano, che segnava allora del sistema solare l'estremo confine; si pubblicavano effemeridi, nelle quali le posizioni stesse di anno in anno, e per ogni giorno dell'anno, erano stampate, e fra esse già erano notissime: la *Connaissance des temps* (1679), il *Nautical Almanac* (1769), il *Berliner Astronomisches Jahrbuch* (1776) e le *Effemeridi astronomiche di Milano* (1775).

Sulle Comete si avevano i lavori di Halley, la teoria delle perturbazioni cometarie di Lagrange (1780), i lavori di Lexell e di Laplace sulla Cometa del 1770; lavori, i quali avevano dimostrato che alle Comete, non meno che agli altri corpi del sistema planetario, erano applicabili le leggi della gravitazione universale, che il movimento delle Comete era determinato dall'azione preponderante del Sole e poteva essere perturbato dall'azione dei pianeti; ma intorno al numero delle Comete in generale, e delle Comete periodiche in particolare, intorno alla probabile origine loro, intorno alla parte che esse rappresentano nella economia del mondo, poco o nulla si sapeva. Degli innumerevoli pianetini, che esistono fra Marte e Giove, non si sospettava neppure; che cosa fossero le stelle cadenti non si sapeva; che nel mondo e nel sistema del Sole le correnti meteoriche esistessero e vi avessero una parte importantissima da tutti si ignorava.

L'Astronomia, in generale, si limitava quasi esclusivamente a determinare le posizioni delle stelle fisse, e a studiare i movimenti degli astri erranti; altre osservazioni, che in seguito assunsero grande importanza, erano considerate come accessorie affatto; non esisteva quella varietà di metodi e di

indagini che il secolo XIX via via seppe inventare; la fisica generale, la chimica non avevano ancora sollevato, come oggi, problemi astronomici svariatissimi, importanti per sè medesimi e per le applicazioni loro.

Negli Osservatorî astronomici erano rare le osservazioni regolari, continue, sistematiche; il solo Osservatorio di Greenwich faceva eccezione; esso, non solo osservava regolarmente le stelle, il Sole, la Luna, i pianeti, ma regolarmente e scrupolosamente pubblicava le proprie osservazioni. Nella *Connaissance des temps,* nel *Berliner Jahrbuch*, nelle *Effemeridi di Milano,* in quelle di Vienna si pubblicavano saltuariamente queste e quelle osservazionî astronomiche; ma pubblicazioni regolari di osservazioni mancavano ancora, un vero e proprio giornale astronomico ancora non usciva.

Osservatorî pubblici astronomici si avevano allora solo in Europa, e da una statistica, non so quanto completa, traggo che ne esistessero 132, dei quali 30 in Francia, 26 in Inghilterra, in Italia, 35 in Austria ed in Germania, 6 in Ispagna e nel Portogallo, 8 in Isvizzera ed in Olanda, 7 in Danimarca, nella Svezia ed in Russia; nè in Asia, nè in Africa, nè nelle Americhe, nè in Australia pubbliche specole esistevano. Le comunicazioni fra gli astronomi erano rare e difficili, lenta era la diffusione delle cognizioni, scarso il numero degli astronomi di professione; la vera vita astronomica mancava, e con essa ogni traccia di organizzazione dei lavori di indagine e delle ricerche diverse; mancava il movimento astronomico cosmopolita, pel quale ogni progresso non si fa più da un popolo e per un popolo, ma esce dal fascio di tutte le nazioni incivilite.

Oggi gli Osservatorî astronomici esistenti superano i 300; e di essi 177 sorgono in Europa, fra i quali 23 in Italia, 100 nelle Americhe, dei quali 71 negli Stati Uniti dell'America del Nord, 12 in Asia, 6 in Australia, 4 in Africa, 4 nel Giappone e nelle isole oceaniche. Oggi sommano a 22 le Associazioni astronomiche nazionali ed internazionali esistenti;

sono sette i Comitati astronomici per istudiare questo o quel problema speciale; sono 19 le riviste ed i giornali astronomici, fra i quali le *Memorie della Società degli Spettroscopisti italiani,* che senza interruzione si pubblicano dal 1872; sono 77 i costruttori di istrumenti per l'Astronomia, 367 gli astronomi liberi e dilettanti, 700 gli astronomi di professione.

L'Astronomia ha questo di caratteristico: che fiorisce solo presso i popoli che per cultura, per potenza economica, per ordinamento sociale stanno fra i più inciviliti; essa non solamente costituisce l'avanguardia, la testa di colonna di tutte le scienze, ma per la vastità delle sue ricerche e per il grande numero di cognizioni svariatissime, delle quali ha bisogno, diventa effetto e sintomo ad un tempo di civiltà. È notevole quindi che essa, in ogni età, abbia avuto cultori valenti e geniali nell'Italia nostra, terra antichissima di civiltà. Non sarebbe cómpito assai arduo il dimostrare quanta gran parte, a cominciare da Pitagora e dagli scienziati della Magna Grecia, il genio italiano abbia avuto negli studi e nei progressi astronomici; ma non ha bisogno di dimostrazione il fatto, universalmente noto ed ammesso, che in Italia, nel secolo XV, studiarono, vissero, insegnarono i grandi iniziatori della evoluzione filosofica e scientifica del Rinascimento, evoluzione la quale può dirsi trovasse appunto nell'Astronomia il fulcro suo.

Non a torto, in quel secolo glorioso, l'Italia ebbe la riputazione di maestra di ogni sapere, e venne detta la terra sacra delle scienze. Alla Università sua di Padova studiarono, in quel secolo, Niccolò da Cusa (Cusano) e Paolo Dal Pozzo Toscanelli, ispiratori l'uno e l'altro del pensiero filosofico e scientifico del proprio tempo, iniziatore il Toscanelli di vere e proprie osservazioni astronomiche, quegli che avviò l'Astronomia moderna sulla strada feconda dell'osservare e del riosservare, quegli che cominciò a studiare il cielo nel cielo stesso, e non nei libri degli scolastici.

Appartengono al secolo XV Francesco Campani che professò a Padova, Giovanni Bianchini che insegnò a Ferrara,

Domenico Maria Novara, alle cui lezioni assistè a Bologna Nicolò Copernico, Luca Pacioli, che ebbe non piccola parte nel rinascimento delle matematiche in Europa. È il XV il secolo del grande gnomone di Santa Maria del Fiore, in Firenze, di Battista Alberti del Toscanelli famigliarissimo, geometra, aritmetico, astronomo, musico, nato, si disse, per investigare i segreti della natura. È desso il secolo di astronomi, di astrologi, di cosmologi di non comune valore, il secolo nel quale cominciò ad agitarsi ed a maturarsi la questione viva della riforma del Calendario, la quale in Italia trovò la soluzione sua nel secolo XVI. Fu il secolo XV quello che raccolse l'impulso dato al movimento scientifico e agli studi astronomici da Paolo dei Dagomari, e gli diede forza e vigore, quello dal quale partì quel moto energico e fecondo, che attraverso al secolo XVI, così ricco d'ingegni, fu nel secolo XVII causa e ragione efficiente di Galileo Galilei e della celebre Accademia del Cimento, composta di uomini insigni sì nella fisica sperimentale, che nelle osservazioni astronomiche. Non a caso il secolo XVII vide nascere in Italia gli uomini del Cimento, che questa Accademia e Galileo vogliono piuttosto essere considerati come il prodotto spontaneo della sapiente e forte evoluzione scientifica italiana nei due secoli precedenti.

Con Galileo sorse in Italia l'Astronomia che oggi dicesi fisica, e che più specialmente si occupa delle apparenze superficiali degli astri, ne determina le dimensioni, ne studia la forma e la costituzione. Fu Galileo il primo (1610) a fare oggetti di misure dirette e speciali le montagne lunari, ad accertare il moto di librazione della Luna, a scoprire i satelliti di Giove, a segnare le fasi di Venere, a vedere e riconoscere i cambiamenti d'aspetto dell'anello di Saturno, ad osservare e descrivere (1611) le macchie solari, a determinare con rigore la rotazione del Sole intorno a sè medesimo, nè i germi da lui gettati rimasero infecondi. Francesco Fontana (1602-1656) scopriva a Napoli le macchie di Venere, la rotazione di Marte, le fascie di Giove; e Gian Domenico Cas-

sini (1625-1712), non appena la fine della guerra dei Trent'anni diede all'Europa stabilità e riposo, reintegrava fra noi il culto delle osservazioni astronomiche e saliva in gran fama osservando la Cometa del 1652, ricostruendo lo gnomone e la meridiana di Ignazio Danti a S. Petronio, scoprendo e misurando la durata della rotazione di Giove, determinando con maggior esattezza quella della rotazione di Marte (1665).

Non bastò la partenza di sì insigne astronomo e maestro, chiamato a dirigere l'Osservatorio di Parigi, a scemare fra noi il gusto degli studi astronomici e a svigorirne l'intensità, che anzi il culto loro crebbe e di molto si svolse durante tutto il secolo XVIII, eccitato qui, come dappertutto in Europa, dalle speculazioni sublimi e pur sempre memorabili di Newton, morto vecchio d'anni appunto nel 1727.

A Bologna, infatti, città madre degli studî, già nel 1712, per l'opera generosa ed illuminata del conte Marsigli, sorgeva quell'Osservatorio astronomico, che per tutto il secolo XVIII diede prova di molta attività, e che, per merito specialmente degli astronomi Eustacchio Manfredi (1723-1739) ed Eustacchio Zanotti, salì a nobilissima fama.

A Milano Paolo Frisi (1728-1784) illustrava il suo nome con ricerche stimatissime di Astronomia matematica; e verso il 1760, per opera dei padri Gesuiti, sorgeva nel palazzo di Brera un Osservatorio di grande avvenire, e che tosto, per opera dell'astronomo padre Luigi Lagrange (1762-1777), per opera del celebre padre Giuseppe Ruggero Boscovich (1764-1772 e 1785-1787), astronomo, matematico, geodeta, ingegnere, salì ad alta fama.

A Padova, sopra domanda di Giuseppe Toaldo, il Senato di Venezia fondava, nel 1761, sulla torre famosa di Ezzelino, un Osservatorio astronomico, che Toaldo stesso, il quale lo diresse fino al 1797, presto rese meritatamente celebre.

A Firenze, Leonardo Ximenes (1717-1786), coi suoi lavori sul celebre gnomone di Santa Maria del Fiore, e con le sue ricerche su Paolo Dal Pozzo Toscanelli, rievocava le glorie

imperiture dello studio fiorentino, ed ispirava forse Leopoldo d'Austria a decretare nel 1774 l'erezione di un Osservatorio astronomico presso il Museo imperiale di Fisica e di Storia naturale.

A Roma e al vecchio Collegio Romano i padri gesuiti Borgondio (1679-1741), Asclepi (1706-1776), Le Maire e Boscovich (1751-1753), il canonico Francesco Bianchini (1662-1729), il padre domenicano Audiffredi (1714-1794), l'abate Luigi De Cesaris (1777-1784), l'abate Eusebio Veiga (1785-1798), l'abate Giuseppe Calandrelli (1749-1827), tenevano, durante tutto il secolo XVIII, alta e viva una tradizione astronomica oramai antica.

A Torino, il padre Giacomo Battista Beccaria, con la misura del suo celebre arco di meridiano (1759-1774), con le osservazioni astronomiche fatte da un'alta torre della sua privata abitazione, svegliava il gusto delle ricerche di Astronomia pratica e faceva sentire la necessità per la coltura generale di una pubblica specola.

A Napoli, Ferdinando IV, riorganizzatore di quella Università, fondava nel 1767 l'Osservatorio di San Gaudioso e lo affidava alla direzione di Giuseppe Casella (1798-1808), allievo di Toaldo; a Palermo, l'astronomo Giuseppe Piazzi (1780-1820) aveva l'onore di trasformare (1781) le vecchie torri di quel palazzo reale in Osservatorio astronomico, e di portare questo, con le sue osservazioni, a grande celebrità.

Così avvenne che nell'anno 1800, non per virtù di principi, di governi o di genî improvvisamente apparsi, ma piuttosto quale conseguenza di un lavoro tenace, intenso, secolare, gli studi astronomici fossero fra noi fiorentissimi, e che in essi l'Italia nostra, pur non avendo sulle altre nazioni il primato, non fosse seconda a nessuna.

Le nostre Specole pubbliche erano numerose; erano tutte lanciate, è vero, su alte e vecchie torri; ma questo era di tutte le Specole del tempo. In alcune di esse, come a Padova ed a Milano, si avevano strumenti fra i più perfetti dell'epoca,

quadranti e sestanti mobili, settori equatoriali, settori zenitali, quadranti murali di grande diametro, ai quali si facevano osservazioni altrettanto numerose e precise che a Greenwich, a Parigi e nelle Specole più celebrate; a Palermo, l'astronomo Piazzi osservava ad uno degli stromenti altazimutali più celebri del tempo suo; Dollond, Sisson, Canivet, Adams, Ramsden e i più rinomati artefici avevano fabbricato gli strumenti delle nostre Specole, non meno di quelli di pressochè tutte le esistenti.

Le effemeridi astronomiche di Bologna contavano oramai quasi un secolo; quelle di Milano datavano solo dal 1775, ma già stavano fra le pubblicazioni astronomiche più importanti del tempo. A Padova dirigeva l'astronomo Vincenzo Chiminello, illustre discepolo e successore di Toaldo. A Milano, fino dal 1777, la direzione dell'Osservatorio era passata nelle mani dei tre amici e colleghi Angelo De Cesaris, Francesco Reggio, Barnaba Oriani; essi, tuttora in età vigorosa, uniti dai nobilissimi intenti loro, con lavoro indefesso, con ingegno vario, circondavano di gloriosa aureola la Specola ad essi affidata, non meno che i propri nomi; al fianco loro, e dall'Oriani chiamato, Antonio Cagnoli, già illustre pei lavori eseguiti sotto l'ispirazione di Lalande a Parigi (1776-1784), per le ricerche fatte a Verona (1788-1797) nella propria Specola privata (1798-1802), stava dando l'ultima mano al suo catalogo di 500 stelle. A Torino insegnava Astronomia all'Università e dirigeva l'Osservatorio, edificato verso il 1790 nel palazzo dell'Accademia delle scienze, il dottissimo abate Tommaso Valperga di Caluso, maestro ad un tempo di greco, di lingue orientali, di matematiche pure e di applicate ai problemi astronomici in ispecie. A Bologna, dirigeva l'Osservatorio Petronio Matteucci, discepolo e successore di Eustacchio Zanotti, ed a lui, morto nel dicembre dell'anno 1800, dovevano succedere con rapida vicenda l'abate G. Saladini, Giov. Batt. Guglielmini, Lodovico Ciccolini. A Firenze, sotto il granduca Ferdinando, successore di

Leopoldo I, veniva decretato un ampiamento dell' Osservatorio, alla direzione del quale chiamavasi più tardi Domenico De-Vecchi. A Pisa, professava Astronomia all'Università e faceva ripetute osservazioni alla Specola accademica l'astronomo, ben noto per le importanti sue pubblicazioni, Francesco Hop di Cadenberg. A Roma l'astronomo G. Calandrelli, aiutato dai valorosi assistenti A. Conti, G. Ricchebach, copriva la cattedra di Astronomia, e illustrava con osservazioni, con calcoli e con pregevoli pubblicazioni l' Osservatorio del Collegio Romano, da lui fondato.

Due Italiani di genio, infine, tenevano alto il nome nostro nel campo dell'Astronomia matematica: Barnaba Oriani già nominato e che il Monti chiamò « degli astri indagator sovrano »; Giuseppe Luigi Lagrange, il quale, dalla Cattedra di matematica della scuola di artiglieria a Torino (1755-1766) passava a Berlino prima (1767-1787), a Parigi poi (1788-1813), dappertutto ammirato per la fecondità e per l'originalità del suo genio analitico, e studiava profondamente, come Laplace, dal punto di vista meccanico le quattro Stelle medicee di Galileo, che fanno parte dei sette (1) satelliti di Giove.

Questo stato di cose, così lusinghiero per l'Astronomia, non durò a lungo, nè si protrasse oltre il 1830.

Alle Specole italiane mancarono insegnanti, non per colpa degli uomini, ma piuttosto per le condizioni generali politiche ed economiche della penisola, i mezzi necessari per tener dietro ai progressi continui dell'Astronomia istrumentale, per sostituire via via agli antichi nuovi e perfezionati e più grandi strumenti. Esse cominciarono a decadere, e solo dopo proclamato il nuovo Regno Unito risorsero a vita nuova.

A far progredire l'Astronomia, senza dubbio, hanno efficacemente contribuito, specialmente nel secolo XIX:

---

(1) 5º Satellite scoperto il 9 sett. 1092, 6° scoperto il 3 dicembre 1904 e 7º il 2 genn. 1905.

I. Le pubblicazioni periodiche. — Esse vennero iniziate nel 1800 dal barone Francesco Zach, direttore dell'Osservatorio astronomico di Gotha dal 1787 al 1806, il quale pubblicò un giornale mensile astronomico in lingua tedesca fino al 1813 e forma ventotto grossissimi volumi: *Monatliche Correspondenz zur Beförderung der Erd-und Himmels Kunde.* Nel 1816, il barone Bernardo di Lindenau, astronomo pure di Gotha dal 1804 al 1817, prese a stampare a Tubinga un nuovo giornale astronomico mensile, *Zeitschrift für Astronomie und verwandte Wissenchaften,* che pubblicò solo fino al 1818 e comprende sei volumi.

Nel 1818, il barone Zach, dimorante allora in gran parte in Italia, riprese la pubblicazione della sua corrispondenza astronomica, la stampò in lingua francese a Genova, e la protrasse fino al 1826, portandola al suo quindicesimo volume: *Correspondence astronomique, géographique, hydrographique et statistique.* Nel 1821, Cristiano Schumacher, direttore dell'Osservatorio astronomico di Altona, fondò una pubblicazione di nuovo genere, destinata a notizie brevi intorno alle ricerche ed alle osservazioni astronomiche quotidiane; questa nuova pubblicazione ebbe per titolo le *Astronomische Nachrichten,* le quali divennero ben presto ebdomadarie, ed assunsero ben tosto il carattere di un vero e proprio giornale scientifico, divenendo altresì il primo giornale astronomico internazionale. Queste pubblicazioni, unite alle pubblicazioni astronomiche annue, la *Connaissance des temps,* il *Nautical Almanac,* il *Berliner Astronomisches Jahrbuch,* le *Effemeridi astronomiche* di Milano, agevolarono la diffusione di giuste cognizioni; in esse si elaborarono i progressi successivamente apportati nei primi decenni del secolo XIX alle teorie, agli strumenti, ai calcoli astronomici; con esse si iniziò una viva ed efficace corrispondenza astronomica, la quale fu la ragione prima di quel fascio armonico, che gli astronomi della terra andarono formando via via e stringendo sempre più. Sarebbero state insufficienti allo scopo le pubblicazioni accademiche, per natura loro

tarde e quasi pigre, gli *Annali*, che le differenti Specole, a datare dal 1814, cominciarono a fare uscire le une dopo le altre.

II. Le Associazioni astronomiche. — Esse, più che alla diffusione rapida delle notizie, giovarono ad eccitare e a tener vivo il gusto degli studi astronomici, a procurare il danaro necessario a spedizioni astronomiche lontane, all'acquisto di nuovi, più forti e più perfetti strumenti di osservazione, all'ampliamento di Specole antiche, alla fondazione di nuove. Dapprincipio, esse ebbero carattere esclusivamente nazionale; più tardi, il già esistente fascio astronomico diede origine ad Associazioni internazionali. Fra le prime merita menzione speciale la *Royal Astronomical Society*, fondata a Londra nel 1820, la quale molto contribuì allo svolgersi degli studi astronomici in Inghilterra, e forse eccitò le Associazioni analoghe, che sorsero in seguito sì in Europa, che in America; la Società degli Spettroscopisti italiani, fondata dal padre Angelo Secchi e dal prof. Pietro Tacchini nell'ottobre del 1871. Fra le seconde sono notevolissime l'Associazione internazionale, sorta a Lipsia nel 1865 col titolo « Astronomische Gesellschaft », il Comitato internazionale per la formazione della Carta fotografica del cielo, formatosi a Parigi nel 1887, di cui fanno parte ben diciassette Specole, la Vaticana e quella di Catania fra le nostre. È un merito dell'Astronomia di avere, forse prima fra le scienze, saputo trar profitto del moderno spirito di associazione, e di avere da più di un quarto di secolo introdotto l'uso di studiare e di risolvere le questioni più gravi e più complesse per mezzo di Associazioni, di Comitati e di Conferenze internazionali. Essa pose, per tal modo, in atto un metodo validissimo a far sì che alla risoluzione dei problemi più difficili concorressero gli uomini meglio competenti di tutto il mondo, senza distinzione di confini sia doganali che politici. Essa per tal modo, maestra e precorritrice di civiltà, come sempre fu e pur è, modestamente e quasi non avvertita, prepara e spiana la via per la quale, con grande vantaggio della

umanità, in un avvenire che non può esser lontano, saranno studiate e risolte molte fra le più ardue questioni di indole sociale, economica, politica.

III. Le comunicazioni telegrafiche, le quali giovarono efficacemente per la rapida diffusione delle notizie astronomiche.

Inoltre, il secolo xix, non pago dei grandi progressi fatti nell'ottica meccanica e matematica, perfezionando e costruendo cannocchiali e telescopi di grandi dimensioni e di straordinaria penetrazione, immaginò, per investigare le profondità dei cieli, di impiegare un mezzo, cui nessuno prima aveva mai creduto di poter mettere a disposizione dell' Astronomia, dico l'arte fotografica; ed ora la fotografia è divenuta uno strumento potentissimo di ricerca in mano dell' astronomo; onde anche di questo gran progresso fatto dall'Astronomia dovrà parlare la storia di questo nuovo ritrovato. Non pago l'uomo di studiare i cieli mediante la dagherrotipa, volle spingere anche più oltre il suo sguardo scrutatore; volle conoscere l' intima costituzione fisica dei corpi celesti, mettendo a disposizione dell'Astronomia la *spettroscopia,* e così venne formando un'Astronomia nuova: l'*astrofisica*, creazione di Galileo, dal secolo xix svolta, ampliata e sospinta a grandi altezze. Lo spettroscopio e la fotografia sono le due armi, delle quali l'Astronomia si vale; armi potenti e moderne, che gli astronomi appresero ad usare con rara perizia in ricerche di una tecnica squisitissima. È un fatto assai caratteristico, nuovo ed importante, se lo si considera nei suoi rapporti con lo scibile e con lo sviluppo del pensiero umano, come la fotografia e la spettroscopia, scienze che, in apparenza, non hanno alcuna connessione con l'Astronomia, possano venire in aiuto, fondersi insieme con quest' ultima, e così dare origine a nuovi e non sospettati rami dello scibile, a scienze nuove, che potrebbero dirsi anche intermedie. Da qualche tempo, molti cominciarono a dubitare che la scienza positiva e sperimentale battesse ormai una strada falsa; che in essa troppo assoluto do-

minasse il metodo analitico e troppo poca parte si facesse al metodo sintetico, che gli scienziati, per intero assorti dall'esame dei singoli fatti, intenti solo ad accumulare particolari e fatti isolati, portassero nelle loro indagini bensì un sapientissimo tecnicismo, ma uno scarso spirito filosofico. Con la creazione di nuovi rami dello scibile, gli scienziati distrussero dalle radici il grave dubbio che intorno all'opera loro si andava susurrando, poichè le nuove scienze intermedie, che prendono tanta parte nell'odierno lavoro scientifico, sono appunto un portato del metodo sintetico, rappresentano anzi esse stesse una felice sintesi, una sintesi nuova, non aspettata, non sospettata neppure. Il fatto della comparsa loro, caratteristica del tempo nostro, non è ancora compreso in tutta la sua estensione, nè apprezzato in tutto il suo valore dal pubblico, non meno che da taluno fra i dotti; ma esso non cessa perciò di avere una grande e straordinaria importanza da qualunque punto di vista lo si voglia considerare.

Prima di intraprendere la traduzione del: *A short History of Astronomy,* di A. BERRY, ho voluto chiedere il parere sul valore di quest'opera al venerando Rettore e Professore dell'Università di Cambridge, W. W. Rouse Ball, il quale mi rispose: « ... M. A. Berry has written *A History of Astronomy* which seems to me be quite good on its own lines ». Ho poi creduto necessario far precedere al lavoro di traduzione quello di preparazione, che è consistito nello studio accurato delle opere seguenti:

a) *Geschichte der Astronomyie,* di R. WOLF;

b) *A popular History of Astronomy during the Nineteenth century,* di AGNES M. CLERKE (Londra, 1902).

c) *Histoire de l'Astronomie* (*Ancienne,* 2 vol.; *Du moyen-âge,* 1 vol.; *Moderne,* 2 vol.; *Du dix-huitième siècle,* pubblicata per cura del MATHIEU, 1 vol.), del DELAMBRE.

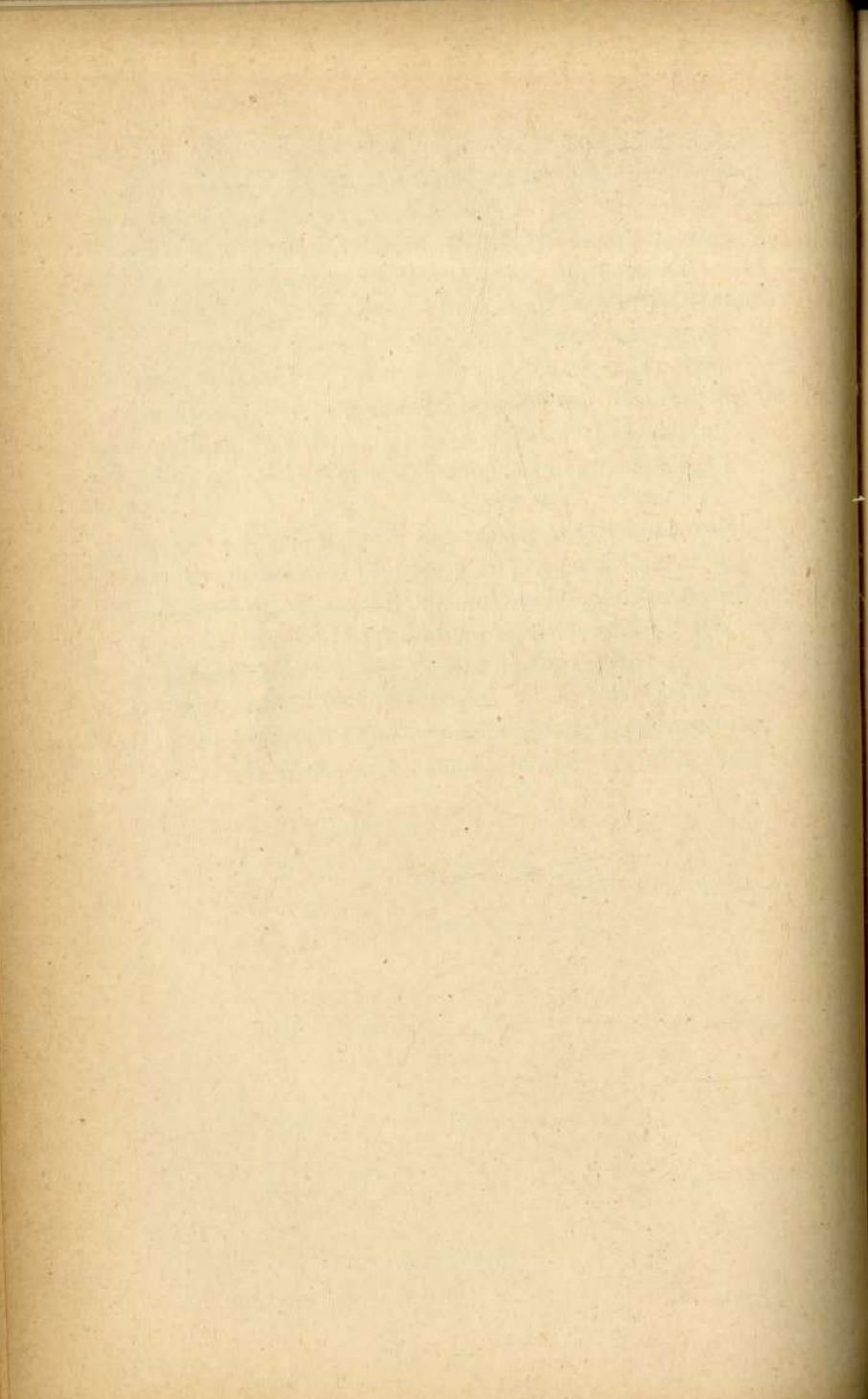
d) *Les fondateurs de l'Astronomie moderne,* del BERTRAND.

e) *L'Astronomia del secolo* XIX, di G. CELORIA.

Nutro fiducia che anche questa mia traduzione, come quelle della Storia delle matematiche, della meccanica e della fisica, sarà accolta dagli studiosi d'Italia con favore, e servirà ad iniziare altri, più valenti di me, su questa via; e spero che fra breve anche la patria nostra potrà avere una storia originale della scienza degli astri: questo è l'unico ed il più ambito frutto che mi attendo dalle modeste mie fatiche.

L'illustre astronomo Elia Millosevich, direttore dell'Osservatorio astronomico al Collegio Romano, si assunse l'incarico della revisione delle bozze di stampa, e di fare tutte quelle aggiunte e modificazioni che avrebbe trovate necessarie.

Affinchè la presente traduzione acquisti maggiore importanza per la patria nostra, si è creduto conveniente di aggiungere ad essa due brevi appendici: l'una, *Sugli astronomi italiani dei tempi recenti,* la quale appendice avrà anche per iscopo di far conoscere agli stranieri l'opera dei principali di essi; l'altra, *Sui nostri Osservatorî astronomici,* per far vedere oltre Alpe che l'Italia non solo si è redenta politicamente, ma è anche risorta a nuova vita scientificamente.

Il Traduttore.

CAPITOLO I.

Astronomia primitiva.

Ivi si fece la terra, il mare, il cielo
E il sole infaticabile, e la tonda
Luna, e gli astri diversi onde sfavilla
Incoronata la celeste volta,
E le Plèiadi, e l'Iadi, e la stella
D'Orïon tempestosa, e la grand'Orsa
Che pur Plaustro si noma. Intorno al polo
Ella si gira ed Orïon riguarda
Dai lavacri del mar sola divisa.

(Omero, *Iliade*, XVIII, trad. di V. Monti).

1. L'Astronomia è la scienza che tratta del Sole, della Luna, delle stelle e di altri corpi, come le comete, che si vedono nel cielo. Essa si occupa abbastanza distesamente anche della Terra, ma solo in quanto essa ha proprietà in comune coi corpi celesti. Nei primi tempi, l'Astronomia studiava quasi esclusivamente i movimenti osservati dei corpi celesti. In un periodo più recente, gli astronomi sapevano determinare le distanze e le grandezze di molti de' corpi celesti e misurare qualcuno di essi; e, più recentemente, hanno raccolto un considerevole numero di cognizioni sulla loro natura e sulla materia, di cui essi son formati.

2. Non conosciamo nulla intorno ai primordî dell'Astronomia, e solo possiamo conghietturare come certi fatti più semplici della scienza - specialmente quelli che hanno una diretta influenza sulla vita e l'agiatezza umana - diven-

nero gradatamente famigliari ai primi uomini, nello stesso modo che essi sono famigliari ai moderni selvaggi.

È conveniente incominciare con questi fatti, prendendoli nell'ordine in cui essi in gran parte subito si presentano da loro stessi ad un osservatore ordinario.

3. Il Sole si vede ogni giorno sorgere dalla parte d'oriente del cielo, muoversi a traverso di esso, arrivare al suo più elevato punto del meridiano a mezzodì, indi discendere, e finalmente tramontare dalla parte di occidente del cielo. Ma il suo cammino quotidiano attraverso il cielo non è sempre il medesimo; i punti dell'orizzonte, in cui esso sorge e tramonta, la sua altezza nel cielo a mezzogiorno, ed il tempo dal nascere al tramonto, tutto passa per una serie di cambiamenti, che sono accompagnati dai cambiamenti del tempo, della vegetazione, etc.; e così noi possiamo riconoscere l'esistenza delle stagioni, e la loro ricorrenza dopo un certo intervallo di tempo, che si dice anno.

4. Ma mentre il Sole sempre appare come un brillante disco circolare, il corpo celeste più grande e più vicino a noi, la Luna, invece, subisce cambiamenti di forma, che subito colpiscono l'osservatore, e subito si vedono succedersi regolarmente e quasi agli stessi intervalli di tempo. Un po' più di cura, tuttavia, occorre per osservare la relazione fra la forma della Luna e la sua posizione nel cielo rispetto al Sole. Così, quando la Luna è sul principio visibile, subito dopo il tramonto del Sole, vicino al punto, in cui esso è tramontato, la sua forma è quella detta " crescente „ (cf. fig. 11, Cap. II, § 28, a pag. 38), la parte convessa essendo rivolta dalla parte del Sole, ed essa tramonta subito dopo il Sole. Nella notte successiva, la Luna è più lontana dal Sole, la crescenza è maggiore, ed essa tramonta più tardi; e così via, finchè, dopo quasi una settimana dal primo apparire della crescenza, essa sembra come un disco semicircolare il cui mezzo cerchio è rivolto verso il Sole. La parte visibile intanto au-

menta, e dopo un'altra settimana diviene un disco completo; la Luna trovasi ora prossima alla direzione opposta al Sole, e quindi si leva circa il tramontare del Sole e tramonta intorno al sorgere di esso. Essa poi incomincia ad accostarsi al Sole dall'altra parte, sorgendo prima di esso e tramontando nel giorno; la sua grandezza di nuovo diminuisce, finchè, dopo un'altra settimana, essa non sia novellamente divenuta semicircolare, con la faccia piana sempre rivolta dalla parte opposta del Sole, ma ora essendo volta verso l'ovest invece che verso l'est. Il semicerchio poi diviene gradualmente decrescente, ed il tempo del suo levarsi si avvicina a quello del sorgere del Sole, finchè la Luna diviene totalmente invisibile. Dopo due o tre notti, la nuova Luna riappare, e la totale serie di cambiamenti torna a ripetersi. Le differenti forme così assunte dalla Luna si conoscono sotto il nome di *fasi*: il tempo impiegato da questa serie di cambiamenti, il mese, si presenta naturalmente da sè stesso come una conveniente misura del tempo; ed il giorno, il mese e l'anno così formerebbero la base di un primo metodo per la misura del tempo.

5. Da poche osservazioni delle stelle si potè anche chiaramente vedere che esse pure, come la Luna ed il Sole, cambiavano posizione nel cielo, quelle verso oriente si vedevano sorgere, e quelle verso occidente abbassarsi e finalmente tramontare, mentre le altre si muovevano attraverso il firmamento da oriente ad occidente; e quelle in una certa parte settentrionale del cielo, quantunque pure in movimento, non si vedevano mai nè a levare nè a tramontare. Sebbene qualunque cosa simile ad una classificazione completa delle stelle appartenga ad uno studio più avanzato dell'argomento, tuttavia, alcuni gruppi di stelle potrebbero facilmente essere riconosciuti e la loro posizione nel cielo potrebbe essere usata come un primo mezzo per misurare il tempo nella notte, per l'appunto come la posizione del Sole serve, il giorno, ad indicare il tempo.

6. A queste nozioni rudimentali furono fatte importanti aggiunte, allorchè furono possibili osservazioni un po' più accurate e protratte; e si pensò un po' più alla loro interpretazione.

Parecchi popoli, che raggiunsero un alto grado di civiltà in un primo periodo, si arrogano il diritto di aver fatto importanti progressi in Astronomia. Le tradizioni greche attribuiscono una considerevole sapienza astronomica ai sacerdoti egiziani, che vissero alcune migliaia di anni avanti Cristo; ed alcune singolarità delle piramidi, che furono costruite in uno di tali periodi, sono, comunque siasi, plausibilmente interpretate come una prova di osservazioni astronomiche abbastanza esatte; le memorie chinesi descrivono osservazioni, che si suppongono fatte nel XXV secolo a. C.; alcuni libri sacri indiani si riferiscono alla scienza astronomica, conosciuta parecchi secoli prima di quest'epoca; e le prime osservazioni dei sacerdoti caldei di Babilonia sono state attribuite a tempi assai più remoti.

D'altra parte, la prima osservazione astronomica ricordata, la cui autenticità può, senza scrupolo, essere accettata, appartiene solo all'VIII secolo a. C.

Per lo scopo che ha questo libro non vale la pena di parlarne, mentre faremo qualche tentativo per distrigare dall'ammasso della incerta tradizione e della interpretazione congetturale d'iscrizioni, riguardanti questa Astronomia primitiva, i pochi fatti che sono ad essa connessi; e possiamo procedere subito a dare qualche ragguaglio delle cognizioni astronomiche, oltre quelle già trattate, che erano in possesso dei primi astronomi realmente storici - i Greci - al principio della loro storia scientifica, lasciandola in aperta discussione in quelle parti, che ebbero la loro origine dagli Egiziani, dai Caldei, dai loro predecessori, o da altre fonti.

7. Se un osservatore guarda le stelle in una bella notte vede un innumerevole (1) apparente gruppo di esse, che sembrano trovarsi in una parte di una superficie sferica, di cui egli è il centro. Questa superficie sferica si chiama, comunemente, il firmamento, ed è conosciuta in Astronomia col nome di *sfera celeste.* La parte visibile di questa sfera termina con la Terra, così che soltanto la metà può essere subito veduta; ma basta solo un lievissimo sforzo della mente per immaginare l'altra metà giacente sotto la Terra, e contenente altre stelle; è in essa che trovasi il Sole quando da noi è notte. Questa sfera sembra, all'osservatore, grandissima, benchè egli sia incapace di dare qualsiasi valutazione esatta della sua grandezza (2).

Gran parte di noi, in gioventù, abbiamo imparato che le stelle si trovano a differenti distanze, e che questa sfera realmente non esiste.

I primi popoli non avevano nessun'idea di tutto ciò, e per loro la sfera celeste esisteva realmente, e spesso la si credeva una sfera di cristallo.

Inoltre, gli astronomi moderni, precisamente come gli antichi, trovano conveniente per moltissime ragioni, di far uso di questa sfera, quantunque essa non esista materialmente, come un mezzo per rappresentare le direzioni, nelle quali sono veduti i corpi celesti ed i loro movimenti. Con tutto ciò l'osservazione diretta intorno alla posizione

---

(1) Nelle nostre regioni, una persona di vista acuta conta ad occhio nudo circa 2000 stelle. Heis a Münster conchiude nel numero di circa 5400 stelle visibili ad occhio nudo, d'onde in tutta la sfera celeste sono visibili ad occhio nudo circa 7000 stelle.
(*N. del Tr.*)

(2) Attribuendo maggiore splendore alle stelle intorno allo zenit, esse ordinariamente sembrano un po' più vicino di quelle prossime all'orizzonte e, conseguentemente, la parte visibile della sfera celeste pare sia un po' meno di una mezza sfera completa. È ciò, tuttavia, di nessuna importanza, nè vale occuparsene.

di un oggetto, come una stella, può dirci quale è la *sua direzione;* la sua distanza può in parte, se non del tutto, determinarsi mediante metodi indiretti.

Se noi disegniamo una sfera, e supponiamo l'occhio dell'osservatore posto nel suo centro (fig. 1), e poi conduciamo una retta da *o* ad una stella *s*, la quale taglia la superficie della sfera nel punto *s*, allora la stella appare esattamente nella stessa posizione come se essa fosse in *s*, e la sua posizione apparente non cambierebbe, se fosse posta in qualunque altro punto come ad es. in *s'* o *s''*, su questa stessa retta (fig. 1).

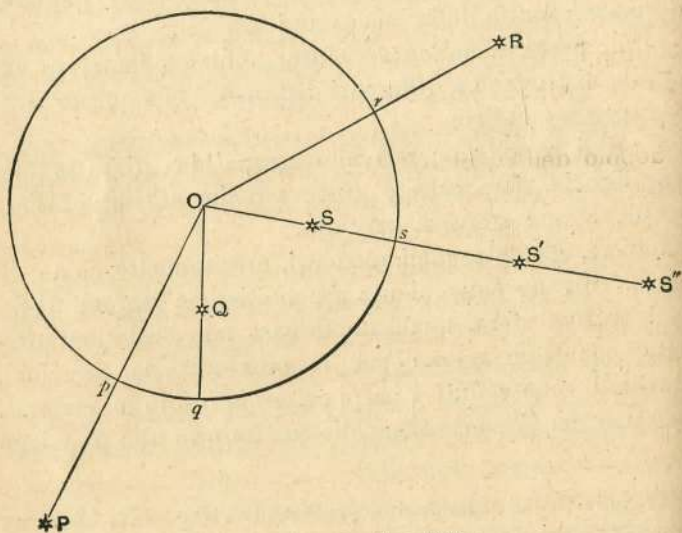



Fig. 1. — *La sfera celeste.*

Onde quando parliamo di una stella che si trova in un punto *s* della sfera celeste, immaginiamo che essa si trovi nella direzione visuale del punto *s*, ovvero, in altre parole, che essa sia situata in qualche punto nella linea retta che va da *o* ad *s*. I vantaggi di questo metodo di

rappresentare la posizione di una stella divengono evidenti, quando desideriamo di paragonare le posizioni di più stelle.

La differenza di direzione delle due stelle è l'angolo che fanno le due rette condotte dall'occhio alle stelle; per es., se le stelle sono R ed S, l'angolo è $R\,O\,S$. Parimente la differenza di direzione di altre due stelle P, Q è l'angolo $P\,O\,Q$. Le due stelle P e Q appaiono più vicine fra loro di R ed S o più lontane, secondo che l'angolo $P\,O\,Q$ è minore o maggiore dell'angolo $R\,O\,S$. Ma se noi rappresentiamo le stelle coi punti corrispondenti p, q, r, s della sfera celeste, allora (per un' ovvia proprietà della sfera) l'angolo $P\,O\,Q$ (che è uguale all'angolo $p\,\hat{o}\,q$) è minore o maggiore dell'angolo $R\,O\,S$ (od $r\,\hat{o}\,s$) secondo che l'arco, che unisce $p\,q$ sulla sfera, è minore o maggiore dell'arco che unisce $r\,s$, e così di seguito; se, per es., l'angolo $R\,O\,S$ è doppio dell'angolo $P\,O\,Q$, così pure l'arco $p\,q$ è doppio dell'arco $r\,s$. Perciò possiamo, in tutte le questioni, che si riferiscono soltanto alla direzione delle stelle, sostituire all'angolo formato dalle direzioni di due stelle, l'arco, che unisce i punti corrispondenti della sfera celeste; od, in altre parole, la distanza fra questi punti sulla sfera celeste. Ma tali archi sulla sfera sono ambedue più facilmente valutabili ad occhio e più facilmente si possono trattare con la geometria meglio degli angoli, e l'uso della sfera celeste è perciò di gran vantaggio, mettendone da banda l'origine storica. È importante osservare che questa *distanza apparente* delle due stelle, cioè la distanza dall'una all'altra sulla sfera celeste, è cosa del tutto differente dalla loro reale distanza nello spazio. Nella figura, per es., Q è realmente più vicina ad S di quello che non lo sia P; ma la distanza apparente, misurata dall'arco $q\,s$, è più volte maggiore di $q\,p$. La distanza apparente di due punti sulla sfera celeste è numericamente misurata dall'angolo formato

dallo due rette, che congiungono l'occhio ai due punti, espressa in *gradi*, *minuti* e *secondi* (1).

Noi possiamo far la convenzione di riguardare la sfera celeste come di ordinaria grandezza, e poi esprimere la distanza fra due punti su di essa in miglia, piedi e pollici; ma questo metodo praticamente è assai incomodo. Il dire, come fa qualche volta il volgo, che la distanza fra due stelle è tanti piedi, non ha alcun significato, a meno che non sia data allo stesso tempo la grandezza supposta della sfera celeste.

È stato già notato che l'osservatore trovasi sempre nel centro della sfera celeste; ciò è vero anche se egli va in un altro luogo. Una sfera ha, del resto, solo un centro, e perciò, se la sfera rimane fissa, l'osservatore non si può muovere all'intorno e rimanere ancora sempre nel centro. I vecchi astronomi rimossero questa difficoltà, supponendo che la sfera celeste fosse così grande, che qualsiasi possibile movimento dell'osservatore sarebbe stato insignificante a confronto del raggio della sfera, e perciò sarebbe stato trascurabile. È spesso più conveniente, allorchè adoperiamo la sfera come semplice mezzo geometrico per rappresentare la posizione delle stelle, di riguardare la sfera muoventesi con l'osservatore in modo, che egli rimanga sempre nel centro.

8. Quantunque tutte le stelle sembrino muoversi attraverso il cielo (§ 5), con velocità differenti, tuttavia, la distanza fra due stelle qualunque rimane invariata, e quindi esse venivano riguardate come attaccate alla sfera celeste. Inoltre un'osservazione un po' diligente mostrerebbe che i movimenti delle stelle, nelle diverse plaghe del cielo, benchè a prima vista differentissimi, ci apparirebbero precisamente come quelli che si potrebbero produrre me-

(1) L'angolo retto è diviso in 90 gradi (90°), un grado in 60 minuti (60′) ed un minuto in 60 secondi (60″).

diante la sfera celeste, con le stelle ad essa attaccate, facendola ruotare intorno ad un asse passante pel centro e per un punto nel firmamento settentrionale, vicinissimo alla ben nota stella polare. Questo punto dicesi *polo*. Siccome, per altro, una retta condotta pel centro di una sfera la taglia in due punti, così l'asse della sfera celeste la taglia pure in un secondo punto, opposto al primo, il quale giace in una parte della sfera celeste, che trovasi per noi permanentemente al disotto dell'orizzonte. Questo secondo punto si chiama pure polo; e se questi due punti vogliònsi distinguere fra loro, il primo dicesi *polo nord*, il secondo *polo sud*. La direzione della rotazione della sfera celeste attorno al suo asse è tale, che le stelle prossime al polo nord si vedono muoversi intorno ad esso in circoli nella direzione opposta a quella in cui si muovono le lancette di un orologio che cammina; il moto è uniforme, ed una rivoluzione completa si fa in quattro minuti meno delle ventiquattro ore; così che la posizione di qualunque stella nel firmamento a mezzanotte è la stessa, che la sua posizione a quattro minuti alle dodici della notte successiva (1).

La Luna, come le stelle, partecipa a questo movimento della sfera celeste, e così pure il Sole, quantunque ciò sia più difficile a riconoscersi pel fatto, che il Sole e le stelle non si vedono insieme.

Siccome dovranno essere studiati gli altri movimenti dei corpi celesti, il movimento generale ora descritto può essere convenientemente riferito nello stesso modo del *moto diurno* o della *rotazione diurna* della sfera celeste.

9. Un ulteriore studio del moto diurno condurrebbe a riconoscere certi importanti cerchi della sfera celeste. Ogni stella descrive nel suo moto diurno un cerchio, la cui grandezza dipende dalla distanza dai poli. La fig. 2 mo-

(1) È meglio dire: la rivoluzione si compie in 23^h 56^m lette nei nostri orologi comuni. (*N. del Tr.*)

stra i circoli descritti da un numero di stelle vicine al polo; essa è stata fatta mediante la fotografia, durante parte della notte. La stella polare descrive un cerchio così piccolo, che il suo moto può solo con difficoltà essere veduto ad occhio nudo; le stelle un po' più lontane dal polo descrivono cerchi maggiori, e così via, finchè arriviamo alle stelle che si trovano a metà cammino fra i due poli, che descrivono il cerchio massimo, che può tracciarsi nella sfera celeste. Il cerchio, sul quale si trovano queste stelle e che è descritto da una qualunque di esse quotidianamente, chiamasi l'*equatore*. Osservando un disegno come quello della fig. 3, o ancor meglio, con l'osservare un vero globo, si può facilmente vedere che mezzo equatore ($E\,Q\,W$) si trova al di sopra, e l'altra metà (la parte punteggiata, $W\,R\,E$) al disotto dell'orizzonte; e che perciò una stella, come la s, giacendo sull'equatore, sta nel suo moto diurno egual tempo al di sopra ed al disotto dell'orizzonte. Se una stella, come s, si trova dalla parte nord dell'equatore, vale a dire dalla parte, in cui si trova il polo nord P, più della metà della sua orbita diurna trovasi sopra l'orizzonte e meno della metà (come si vede dalla linea punteggiata) giace al disotto; e se una stella è abbastanza vicino al polo nord (più precisamente, se essa è più vicina al polo nord del punto più vicino, K, dell'orizzonte) come σ, non tramonta mai, ma rimane continuamente sopra l'orizzonte. Tale stella si chiama una (*settentrionale*) *stella circumpolare*.

D'altra parte, meno della metà dell'orbita diurna di una stella a mezzodì dell'equatore, come s', è sopra l'orizzonte; ed una stella, come σ', la distanza della quale dal polo nord è maggiore della distanza del più lontano punto, H, dell'orizzonte, o che è più vicino di H al polo sud, rimane continuamente al di sotto dell'orizzonte.

10. Non occorre avere gran familiarità con le stelle per far comprendere a chiunque che esse non sono sempre

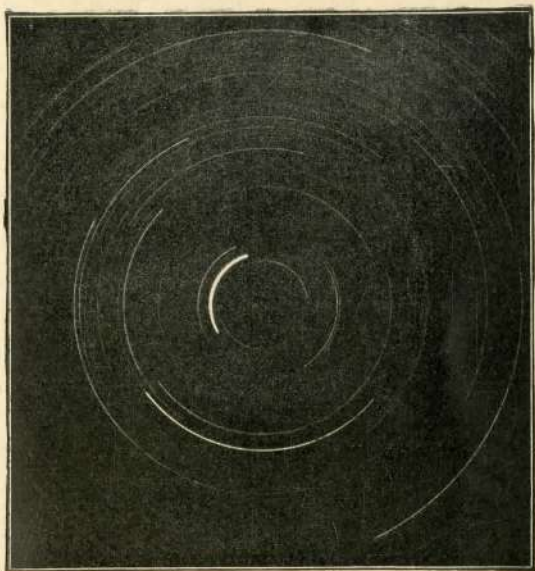
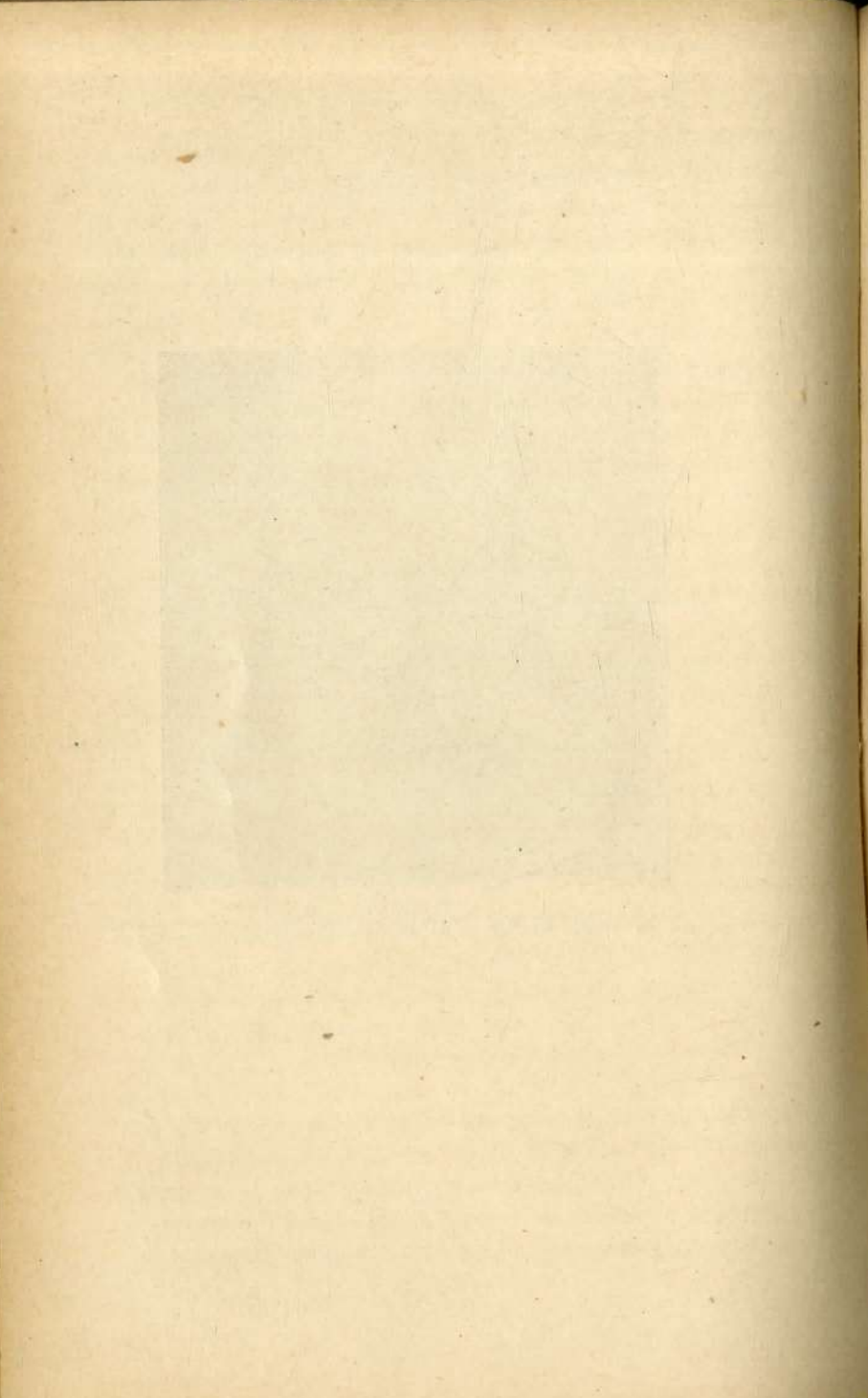



Fig. 2. — *I circoli delle stelle circumpolari, che mostrano il loro moto durante sette ore. Da una fotografia di Mr.* H. Pain. *La linea più marcata è il circolo descritto dalla polare.*

visibili allo stesso tempo della notte. Occorre un'osservazione alquanto più accurata, fatta per lungo tempo, per vedere che l'aspetto del cielo cambia in modo regolare da notte a notte, e che dopo il periodo di un anno, la stessa stella ritorna ad essere visibile allo stesso tempo. La spiegazione di questi cambiamenti, siccome essi son dovuti al moto del Sole nella sfera celeste, è più difficile, e l'ignoto scopritore di questo fatto certamente fece uno dei più importanti passi nell'Astronomia primitiva.

Se un osservatore prende a guardare subito dopo i tramonto del Sole una stella in un punto qualunque del-

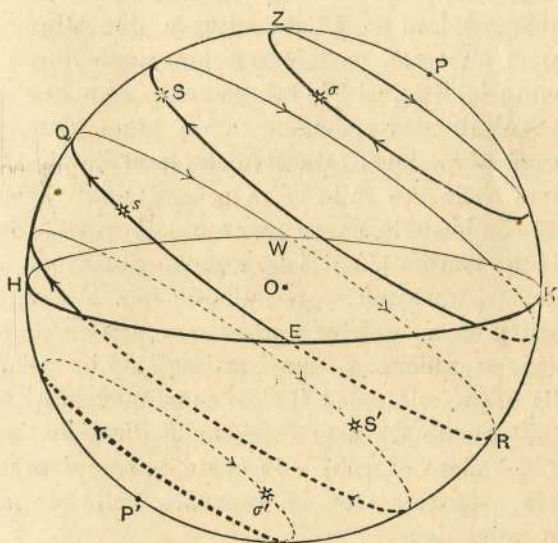



Fig. 3. — *I circoli della sfera celeste.*

l'occidente, e la guarda ancora dopo un po' di sere circa la stessa ora, la trova più in basso e più vicina al Sole; dopo alcune altre sere essa è sempre invisibile, mentre il posto suo ora è stato occupato da qualche altra stella, che era da prima nel cielo più lontana dall'oriente.

Si può osservare che questa stella nel suo movimento, si avvicina di sera in sera sempre più al Sole, e se le stelle visibili dopo il tramonto del Sole più in basso dalla parte orientale sono osservate parecchi giorni dopo, esse si trovano più in alto nel cielo, ed il loro posto è occupato da altre stelle prima di essere vedute molto in basso. Tali osservazioni delle stelle, che sorgono o tramontano prossimamente al sorgere od al tramontare del Sole, rendevano evidente ai primi osservatori che le stelle cambiavano gradatamente di posto rispetto al Sole, oppure che il Sole cambiava di posizione rispetto alle stelle.

I cambiamenti ora descritti, congiunti al fatto che le stelle non cambiano la loro posizione reciproca, dimostrano che le stelle, come un tutto, compiono il loro moto diurno meno rapidamente del Sole, ed è in tal modo che esse guadagnano sul Sole un'intiera rivoluzione in un anno. Questa cosa può esprimersi altrimenti dicendo che le stelle si muovono tutte verso occidente sulla sfera celeste relativamente al Sole; così che le stelle, che si trovano dalla parte orientale, si avvicinano sempre più al Sole, e quelle situate ad oriente di continuo sempre più se ne allontanano. Ma, ancora, i fatti stessi possono essere espressi con uguale precisione e maggiore semplicità, se noi consideriamo le stelle come fisse sulla sfera celeste ed il Sole come moventesi dall'occidente ad oriente fra esse (cioè nella direzione opposta a quella del moto diurno), e in modo da compiere un giro sulla sfera celeste, e tale da ritornare nella stessa posizione un anno dopo.

Questo *movimento annuo* del Sole tuttavia non si riconosce subito come un semplice movimento da occidente ad oriente, per la ragione che il Sole dovrebbe sorgere e tramontare sempre negli stessi punti dell'orizzonte, come fa una stella, e la sua altezza meridiana nel cielo ed il tempo fra il sorgere ed il tramontare dovrebbero essere sempre uguali. Noi abbiamo già visto che se una stella si

trova all'equatore, metà della sua orbita diurna è sopra l'orizzonte; se la stella trovasi a nord dell'equatore più della metà, se a sud dell'equatore meno della metà; e quello che è vero per una stella, è vero, per la stessa ragione, per qualunque corpo che partecipi al movimento diurno della sfera celeste. Perciò, durante i mesi di estate (da marzo a settembre), quando il giorno è più lungo della notte, e più della metà dell'orbita diurna del Sole trovasi sopra l'orizzonte, il Sole deve trovarsi a nord dell'equatore; e durante i mesi d'inverno (da settembre a marzo), il Sole deve trovarsi a sud dell'equatore.

Il cambiamento della distanza del Sole dal polo si rende pure evidente col fatto che, nei mesi d'inverno, il Sole si trova per la massima parte più basso nel cielo che in estate, e che particolarmente è minore la sua altezza meridiana.

11. L'orbita del Sole nella sfera celeste è perciò obliqua all'equatore, trovandosi parte da una banda di esso e parte dall'altra.

Non ostante le molte ed accurate osservazioni che abbiamo dovuto fare, ci è stato necessario prima assicurarci che l'orbita annuale del Sole sulla sfera celeste è un *cerchio massimo* (vedi fig. 4), (cioè un cerchio avente il suo centro nel centro della sfera). Questo cerchio massimo si dice ora *eclittica* (perchè gli eclissi hanno solo luogo quando la Luna piena o nuova è in essa o vicino ad essa), e l'angolo che essa fa con l'equatore si chiama *obliquità* dell'eclittica. Furono i Chinesi i primi a misurare la sua obliquità nel 1100 a. C. ed a trovare l'importante valore esatto di 23° 52′ (cfr. cap. II, § 35). La verità di quanto si è ora esposto può essere ragionevolmente messa in dubbio; ma d'altra parte, l'asserzione degli ultimi scrittori greci che o Pitagora o Anassimandro (VI secolo a. C.), fosse il *primo* a scoprire l'obliquità dell'eclittica, è quasi certamente falsa. Essa deve essere stata di certo nota con sufficiente esattezza tanto ai Caldei, quanto agli Egiziani assai prima.

Quando il Sole attraversa l'equatore, il dì è uguale alla notte, ed i tempi, quando ciò avviene, sono conseguentemente noti come *equinozi;* l'*equinozio di primavera* si verifica quando il Sole passa per l'equatore da sud a nord (circa il 21 di marzo) e l'*equinozio di autunno*, allorchè esso passa dalla parte opposta (circa il 23 settembre). I punti della sfera celeste, ove il Sole attraversa l'equatore (*A* e *C* nella fig. 4), cioè, ove l'eclittica e l'equatore s'intersecano fra loro, si chiamano i *punti equinoziali*, e talvolta anche equinozi.

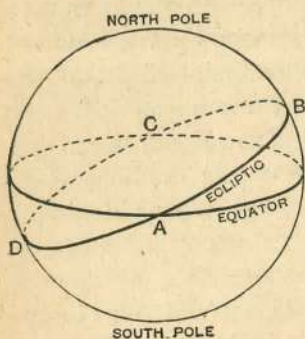



Fig. 4. — *L'equatore e l'eclittica.*

Dopo l'equinozio di primavera, il Sole, nella sua orbita lungo l'eclittica, si allontana dall'equatore verso nord, finchè raggiunge, circa tre mesi dopo, la sua massima distanza dall'equatore, e poi si avvicina di nuovo all'equatore. Il tempo in cui il Sole trovasi alla massima distanza dall'equatore dalla parte nord, si chiama *solstizio di estate*, perchè allora il movimento del Sole verso nord si è arrestato, e pare che esso temporaneamente stia fermo. Parimente il Sole trovasi alla massima distanza dall'equatore verso sud nel *solstizio d' inverno.*

I punti dell'eclittica (*B*, *D* nella fig. 4), in cui il Sole trovasi nei solstizî, chiamansi *punti solstiziali*, e sono equidistanti dai punti equinoziali.

12. I primi astronomi probabilmente osservarono particolari gruppi di stelle, notevoli per la loro forma o per la presenza fra esse di stelle brillanti; ed affaticarono la loro fantasia con lo stabilire delle rassomiglianze fra esse e gli oggetti comuni, ecc. Noi così abbiamo un primo periodo, in cui si è fatto un grossolano tentativo per dividere le stelle in gruppi detti *costellazioni* e dar loro un nome.

In alcuni casi le stelle, riguardate come appartenenti ad una costellazione, formano un ben delineato gruppo nel cielo, sufficientemente separate dalle altre stelle per essere convenientemente insieme classificate, benchè la somiglianza, che il gruppo ha con l'oggetto da cui prende il nome, sia spesso piccolissima. Le sette stelle brillanti dell'Orsa maggiore, per esempio, formano un gruppo, che qualunque osservatore subito vedrebbe, e naturalmente ne farebbe una costellazione; ma la rassomiglianza di esse e delle stelle meno splendenti della costellazione ad un orsa è abbastanza lontana (vedi fig. 5); e difatti, questa parte dell'Orsa è anche stata chiamata Carro, ed in America è conosciuta comunemente col nome di *Dipper;* (1) e un'altra costellazione è stata talvolta chiamata Lira e talvolta col nome di Vulture. In moltissimi casi, la scelta delle stelle pare sia stata fatta in un modo così arbitrario, da far pensare che qualche figura fantastica fosse prima immaginata e che poi le stelle fossero scelte in guisa da rappresentarla in qualche grossolana maniera. Infatti, come osserva Giovanni Herschel, " le costellazioni sembrano essere state a bella posta denominate e delineate per produrre la maggiore confusione ed i maggiori inconvenienti possibili. Innumerevoli serpenti si avvinghiano per lunghe e tortuose plaghe dei cieli, dove nessuna memoria può seguirli: orsi, leoni e pesci, grandi e piccoli, arrecano confusione nell'intera nomenclatura „ (2).

Le costellazioni, come ora le abbiamo, sono, ad eccezione di un certo numero (principalmente nel cielo meridionale), che è stato aggiunto nei tempi moderni, sostanzialmente quelle che esistevano nella primitiva Astronomia greca; e quelle notizie, che possediamo delle costella-

(1) *Dipper*, tuffantesi in acqua, cioè che scompare sotto l'orizzonte del mare. (*N. del Tr.*)

(2) I. Herschel, *Appunti di Astronomia*, § 301.

zioni dei Caldei e degli Egiziani, sono tali che dimostrano chiaramente che i Greci le presero in parte da essi. I nomi, quando non siano quelli degli animali o degli oggetti comuni (Orsi, Serpenti, Lira, ecc.), sono in gran parte presi dai caratteri della mitologia greca (Ercole, Perseo, Orione ecc).

La costellazione della Chioma di Berenice, chiamata poi la regina egiziana del III secolo a. C., è una delle poche, che ricordi un personaggio storico (1).

13. Le costellazioni, che ricevettero, per la prima volta, de' nomi, furon quelle attraverso le quali passa il Sole nella sua annuale rivoluzione della sfera celeste, cioè quelle per cui passa l'eclittica. L'orbita mensile della Luna è pure un circolo massimo, non mai differente di molto dall'eclittica; e le orbite dei pianeti (§ 14) sono tali da non essere mai lontane dall'eclittica. Perciò il Sole, la Luna ed i cinque pianeti furono sempre trovati in una regione del cielo che si estende circa 8° da ambe le bande dell'eclittica. Questa zona della sfera celeste fu chiamata *zodiaco*, perchè le costellazioni in essa erano (salvo una eccezione) chiamate con nomi di cose viventi (dal greco ζῶον, animale); esso fu diviso in dodici parti uguali; i *segni dello zodiaco*, per ciascuno de' quali il Sole passa ogni mese, talchè la posizione del Sole, in qualunque tempo, sarebbe grossolanamente indicata col determinare in qual " segno " esso si trovi. Le stelle in ciascun " segno " formavano una costellazione; il " segno " e la costellazione

(1) Non ho fatto alcun tentativo nè qui, nè altrove per descrivere le costellazioni e le loro posizioni, poichè credo che tali descrizioni fatte a parole siano quasi inutili. Per un principiante che desideri rendersele famigliari, la miglior cosa è di rivolgersi a persona praticissima per farsi indicare alcune delle più importanti nelle diverse parti del cielo. Altre costellazioni allora possono subito aggiungersi mediante un atlante di stelle o mappamondo di stelle che trovasi in molti libri di testo.

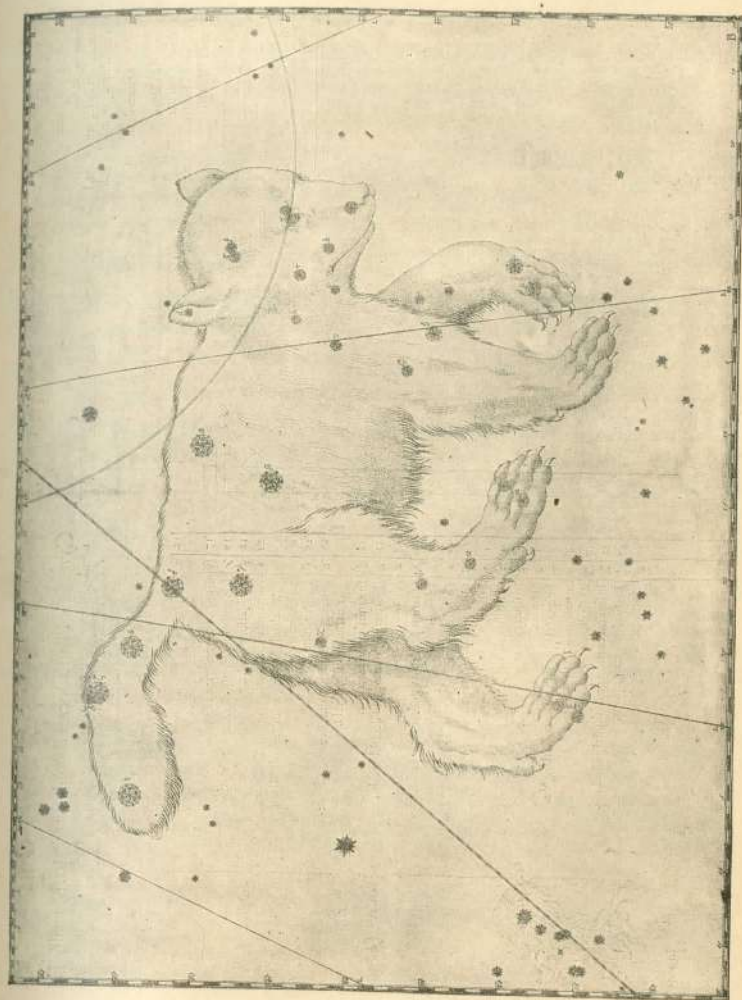
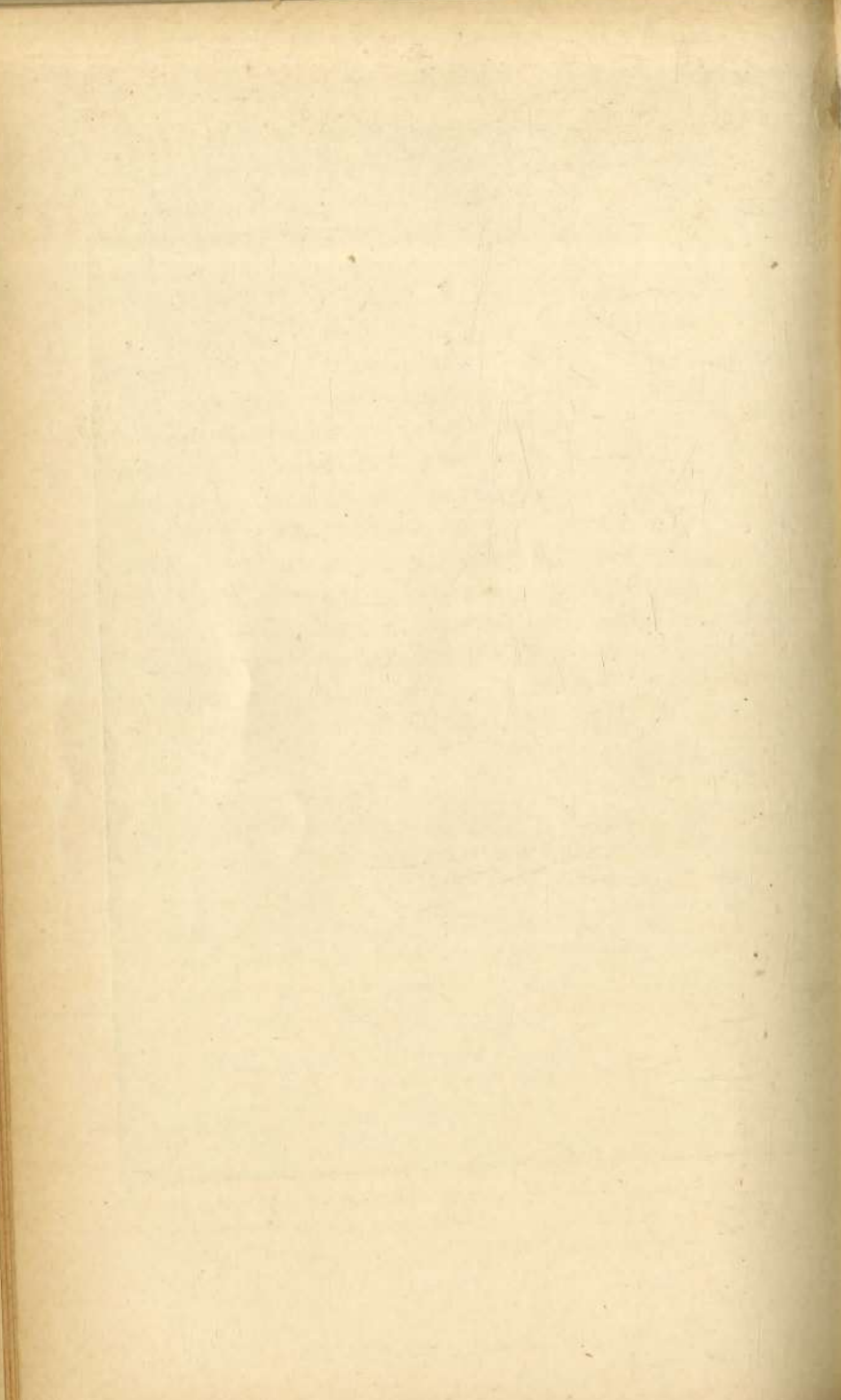



Fig. 5. — *L'Orsa maggiore* (*dalla* Uranometria *di* BUYER, *1603*).

ricevevano entrambi lo stesso nome. Così nacquero le dodici *costellazioni zodiacali*, i nomi delle quali ci sono pervenuti con lievi cambiamenti dai primi tempi della Grecia (1).

In seguito per altro, ad un'alterazione della posizione dell'equatore, e conseguentemente dei punti equinoziali, il segno *Ariete*, che fu definito da Ipparco nel II secolo a. C. (vedi Cap. II, § 42) e che incomincia al punto equinozio di primavera, da non molto non contiene più la costellazione *Ariete*, ma quella che la precede, i *Pesci*; ed avvi un corrispondente cambiamento in tutto lo zodiaco. I più precisi metodi numerici della moderna Astronomia hanno, del resto, posto i segni dello zodiaco quasi in disuso; ma il *primo punto* " *Ariete* " (Γ), ed il *primo punto* " *Lira* " (♎) sono ancora i nomi riconosciuti pei punti equinoziali.

In alcuni casi certe stelle ricevettero pure nomi speciali e furono chiamate secondo il punto della costellazione, in cui si trovavano, per esempio *Sirio*, gli *Occhi del Toro*, il *Cuore del Leone, ecc.*; ma gran parte dei nomi presenti delle singole stelle sono di origine araba (Cap. III, § 64).

14. Noi abbiamo veduto che le stelle, come un insieme, conservano posizioni invariabili nella sfera celeste (2), mentre il Sole e la Luna cambiano le loro posizioni.

---

(1) I nomi, nelle ordinarie forme latine, sono: *Aries*, *Taurus*, *Gemini*, *Cancer*, *Leo*, *Virgo*, *Libra*, *Scorpio*, *Sagittarius*, *Capricornus*, *Aquarius* e *Pisces*; essi si ricordano facilmente mediante questi versi latini del poeta AUSONIO, nato verso l'anno 309 a Burdigala (Bordeaux):

> *Suntq: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leô, Virgo,*
> *Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.*

(Nota del Tr.).

(2) In questa esposizione si trascura di considerare i piccoli moti quasi o del tutto invisibili ad occhio nudo, alcuni de' quali sono fra le più interessanti scoperte dell'Astronomia telescopica; vedi per esempio il Cap. X, §§ 207-215.

Tuttavia, nell'epoche preistoriche, fu scoperto che cinque corpi, a prima vista appena distinguibili dalle altre stelle, cambiavano pure la loro posizione. Questi cinque - *Mercurio*, *Venere*, *Marte*, *Giove* e *Saturno* - col Sole e la Luna, furono chiamati "pianeti" (1), o erranti, per distinguerli così dalle *stelle fisse*. Mercurio non si vede mai, eccetto per caso, vicino all'orizzonte precisamente dopo il tramonto o prima del sorgere del Sole; ed in un paese come il nostro si richiede molto tempo per trovarlo; ed è anzi notevole che *non esista nessun ricordo* della sua scoperta (2).

Venere è brillante come stella della sera o come stella mattutina. La scoperta della identità della stella della sera e del mattino è attribuita a Pitagora (VI secolo a. C.), ma è quasi certo che deve essere stata fatta assai prima, benchè i poemi Omerici contengano notizie su entrambe, senza alcuna indicazione della loro identità. Giove è talora così vivido come Venere al suo massimo splendore, mentre Marte e Saturno, allorchè sono ben situati, si possono annoverare tra le più brillanti fra le stelle fisse.

Le orbite dei pianeti nella sfera celeste non sono, come si è veduto, (§ 13) mai troppo lontane dall'eclittica; ma mentre il Sole e la Luna si muovono continuamente lungo le loro orbite da occidente verso oriente, il movimento di un pianeta talvolta è da occidente ad oriente, o *diretto*, e qualche volta da oriente verso occidente, o *retrogrado*. Se noi incominciamo ad osservare attentamente un pianeta, allorchè si muove verso oriente fra le stelle, troviamo che,

---

(1) L'uso di chiamare «pianeti» il Sole e la Luna ora è in disuso; ed in questo libro seguiremo in avvenire l'uso moderno.

(2) Nelle plaghe di bassa latitudine l'osservazione di Mercurio in crepuscolo è facilissima, d'onde la ragione che fu noto fino dalla più remota antichità. (*N. del Tr.*)

dopo un certo tempo, il movimento diviene di più in più tardo, finchè il pianeta sembra appena muoversi alquanto, ed indi incomincia a muoversi con velocità crescente uniformemente nella direzione opposta; dopo qualche tempo questo moto verso occidente diviene più lento e quindi cessa, ed il pianeta allora incomincia a muoversi novellamente verso oriente, da prima lentamente e poi più celeremente e quindi ancora più presto, finchè ritorna alla sua prima condizione; questi cambiamenti si ripetono. Quando il pianeta sta per mutare il senso del moto, allora si dice che è *stazionario*, e la sua posizione perciò chiamasi un *punto stazionario*. Il tempo, durante il quale il moto di un pianeta è retrogrado, è, tuttavia, sempre considerevolmente minore di quello, durante il quale esso è diretto; il moto di Giove, per esempio, è diretto per circa trentanove settimane, e retrogrado per diciassette; mentre il moto diretto di Mercurio dura tredici o quattordici settimane, ed il moto retrogrado solo tre settimane (vedi fig. 6 e 7).

Generalmente i pianeti vanno da occidente verso oriente e descrivono dei circoli attorno alla vôlta celeste in periodi, che sono differenti per ciascun pianeta. La spiegazione di questa irregolarità nei moti planetari furono per lungo tempo una delle grandi difficoltà dell'Astronomia.

15. L'idea che alcuni dei corpi celesti siano più vicini alla Terra degli altri deve essere stata suggerita dagli ecclissi (§ 17) ed *occultazioni*, cioè i passaggi della Luna davanti ad un pianeta o ad una stella fissa. In questo modo sarebbe stato riconosciuto che la Luna è più vicina a noi di qualunque altro corpo celeste. Nessun mezzo essendo atto a determinare direttamente le distanze, fu impiegata la velocità del movimento come prova di probabile vicinanza. Ora Saturno ritorna allo stesso posto fra le stelle in circa 29 anni e $^1/_2$, Giove in 12 anni, Marte in 2 anni,

il Sole in un anno, Venere in 225 giorni, Mercurio in 88 giorni, e la Luna in 27 giorni: e fu preso quest'ordine ordinariamente per quello della distanza, essendo Saturno il più distante, la Luna la più vicina. Vedendosi le stelle sopra di noi, era naturale pensare che i più lontani corpi celesti fossero come i più alti, e quindi Saturno, Giove e Marte, trovandosi al di là del Sole, venissero chiamati *pianeti superiori* per distinguerli così dai due *pianeti inferiori* Venere e Mercurio. Questa divisione corrisponde pure ad una differenza nei movimenti osservati; così Venere e Mercurio sembrano accompagnare il Sole nella sua rivoluzione annuale, non essendo mai distanti da esso più di 47° e 29° circa rispettivamente, o dall'una o dall'altra parte; mentre gli altri pianeti non sono così limitati nei loro movimenti.

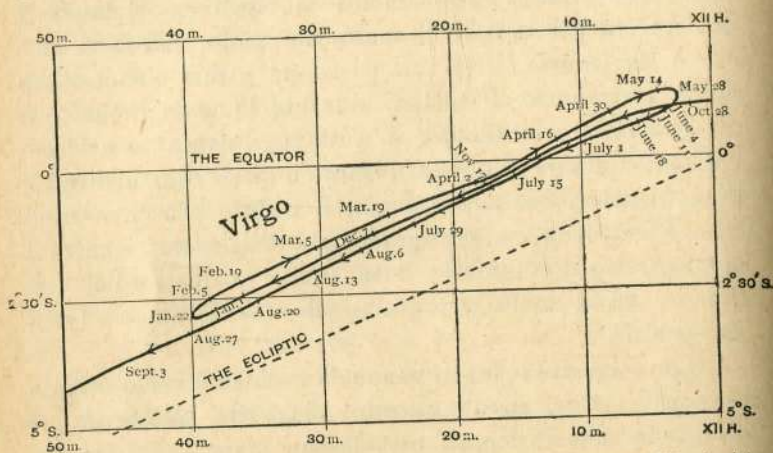



Fig. 6. — *L'apparente orbita di Giove dal 28 ottobre 1897 al 3 settembre 1898. Le date stampate in questo disegno mostrano la posizione di Giove.*

16. La misura del tempo è la più ovvia applicazione pratica dell'astronomia. Siccome il successivo apparire e scomparire del Sole, portanti con sè luce e calore, è il più ovvio dei fatti astronomici, così il giorno è la più semplice

unità di tempo (1). Alcune delle primitive nazioni civili dividevano il tempo dal sorgere al tramonto, e così la notte, ciascuna in 12 ore eguali. Secondo questo computo un'ora di un giorno di estate era più lunga di un'ora della notte ed in inverno era più corta; e la lunghezza dell'ora variava durante l'anno. A Babilonia, dove si faceva questo computo, la durata di un'ora del giorno era, verso la metà della state, circa la metà di quella della durata di

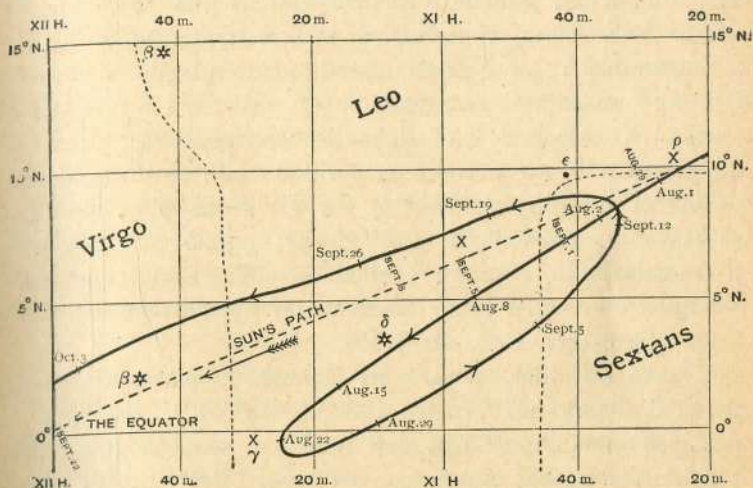



Fig. 7. — L'orbita apparente di Mercurio dal 1° agosto al 3 ottobre 1898. Le date stampate in lettere maiuscole dimostrano la posizione del Sole; le altre date dimostrano quelle di Mercurio.

un'ora a mezzo inverno; ed a Londra sarebbe stata quasi doppia. Deve considerarsi perciò come un meraviglioso progresso, rispetto agli ultimi tempi, quando i greci, di-

(1) Si può osservare che la nostra parola « giorno » (e la corrispondente parola nelle altre lingue) si usa comunemente in due significati, o per indicare il tempo che passa fra il sorgere ed il tramonto (giorno così distinto dalla notte) o per indicare l'intiero periodo di 24 ore o « giorno e notte ». I greci, non ostante, usavano per quest'ultimo una parola speciale, νυχθήμερον.

visero l'intiero giorno in 24 ore uguali. Altre nazioni primitive dividevano lo stesso periodo in 12 ore doppie, ed altre ancora in 60 ore.

L'unità di tempo più semplice e più recente è il *mese lunare*, o periodo durante il quale la Luna compie le sue fasi. Una terza unità indipendente è l'anno. Quantunque l'anno, per sua durata, sia molto più importante del mese, tuttavia, siccome è molto più lungo ed ogni parte dell'anno è più difficile a riconoscersi di una fase particolare della Luna, la durata di esso è molto più difficile a determinarsi; ed i primi metodi conosciuti per misurare il tempo erano relativamente basati sul mese e non sull'anno. Si calcolava che il mese corrispondesse circa a 29 giorni e $^1/_2$; e siccome un periodo di un esatto numero di giorni era più conveniente per gli scopi più comuni, si usarono i mesi di 29 e 30 giorni; perciò per mettere il calendario in completa relazione colla Luna, esso fu adattato all'uso dei mesi, che avevano alternativamente 29 e 30 giorni (cfr. Cap. II, § 19).

Tanto i Caldei, quanto gli Egiziani conobbero, come pare, che l'anno era formato di 365 giorni ed $^1/_4$; e l'Egitto, per il quale l'importanza dell'anno era vieppiù presa in considerazione col crescere e decrescere del Nilo, fu probabilmente la prima nazione, che usò a preferenza l'anno invece del mese come misura del tempo. Esso scelse l'anno di 365 giorni.

L'origine della settimana è affatto differente da quella del mese o dell'anno, e si basa su certe idee astrologiche concernenti gli astri. A ciascun'ora del giorno fu assegnato come " regolatore " uno dei sette pianeti (Sole e Luna compresi), ed a ciascun giorno fu dato il nome del pianeta che regolava la sua prima ora. I pianeti essendo presi nell'ordine già dato, Saturno regolò la prima ora del primo giorno, e perciò anche l'8ª, la 15ª, la 22ª ora del primo giorno, la 5ª, la 12ª, la 19ª del secondo giorno e

così via; Giove regolò la 2ª, la 9ª, la 16ª e la 23ª ora del primo giorno, e perciò la 1ª ora del sesto giorno. In tal guisa le prime ore dei giorni successivi caddero rispettivamente su Saturno, il Sole, la Luna, Marte, Mercurio, Giove e Venere. I primi tre si riconoscono facilmente nel nostro sabato, domenica e lunedì; negli altri giorni i nomi degli Dei romani erano stati sostituiti dai supposti equivalenti teutonici: Mercurio da Wodan, Marte da Thues, Giove da Thor, Venere da Freia (1).

17. Gli *ecclissi* del Sole e della Luna debbono dai primissimi tempi avere esercitato un grande interessamento, congiunto a superstizioso terrore; e la speranza di acquistare qualche conoscenza di essi, fu probabilmente un importante stimolo al primo lavoro astronomico. Che gli ecclissi del Sole avvengano solo al novilunio e quelli della Luna solo al plenilunio, deve essere stato notato dopo una ben lieve osservazione: che gli ecclissi poi del Sole siano prodotti dal passaggio della Luna davanti ad esso deve essere stato accertato meno ovviamente; ma la scoperta che gli ecclissi della Luna siano dovuti all'ombra della Terra fu probabilmente fatta molto più tardi. Infatti, anche all'epoca di Anassagora (v secolo a. C.), l'idea era così poco familiare al pubblico ateniese, da essere riguardata come empia.

Una delle più notevoli contribuzioni caldee all'Astronomia fu la scoperta (fatta comunque sia parecchi secoli a. C.) del riprodursi degli ecclissi dopo un periodo, conosciuto col nome di *saros*, di 6585 giorni (o diciotto dei nostri anni e dieci od undici giorni, secondo che vi cadono cinque o quattro anni bisestili). È probabile che la scoperta sia stata fatta, non mediante il calcolo fondato sulla conoscenza dei movimenti del Sole e della Luna, ma col

---

(1) Confrontare il francese: *mardi*, *mercredi*, *jeudi* e *vendredi* o meglio ancora coll'italiano: *martedì*, *mercoledì*, *giovedì*, *venerdì*.

semplice studio delle date, in cui si ricordava avvenissero gli ecclissi. Siccome, per altro, un ecclisse di Sole (diverso da un ecclisse di Luna) è solo visibile sopra una piccola porzione di superficie della Terra, e gli ecclissi di Sole, verificandosi in periodi di diciotto anni, non sono generalmente visibili nello stesso luogo, non è del tutto facile scorgere come i Caldei potessero avere stabilito il loro ciclo per questo caso; poichè non è infatti chiaro che il *saros* si supponesse potersi applicare tanto agli ecclissi di Sole, quanto a quelli di Luna. Il *saros* si può spiegare, ai tempi moderni con gli ecclissi di Sole, che verificaronsi nel 18 luglio 1860, nel 29 luglio 1878, e nel 9 agosto 1893; ma la prima fu visibile nell'Europa meridionale, la seconda nell'America settentrionale, e la terza nell'Europa e nell'Asia settentrionale.

18. Ai Caldei si può anche ascrivere l'incerto onore di essere stati fra i primi a dare sviluppo all'*Astrologia*, quella falsa scienza che aveva per oggetto di assicurarsi l'influenza delle stelle sugli eventi umani, di predire mediante le osservazioni celesti guerre, carestie, pestilenze, e di scoprire il destino degl'individui mediante le posizioni delle stelle al momento della loro nascita. Una credenza consimile all'Astrologia ha sempre prevalso nei paesi orientali; essa fiorì talvolta fra i Greci ed i Romani; formò uua parte importante del pensiero medioevale, e non è anche completamente spenta fra noi presentemente (1). Si ricorderà peraltro che se la storia dell'Astrologia è una storia dolorosa, dovuta ai numerosi esempi che essa fornisce della credulità e della furfanteria umana, tuttavia la credenza in essa è indubbiamente stata un potente stimolo al vero studio dell'Astronomia (cfr. Cap. III, § 56 e Cap. V, §§ 77, 100).

---

(1) Vedi, per esempio, *Old Moore's or Zadkiel's Almanack.*

CAPITOLO II.

L'astronomia greca.

> « L'Astronomia fa vedere che la geometria, pura astrazione della mente umana, è la misura del movimento planetario ». EMERSON.

19. Nel primo periodo della storia greca, una delle principali funzioni, spettanti agli astronomi, era quella di regolare esattamente il calendario. I Greci, come le primissime nazioni, incominciarono con un calendario fondato sulla Luna. All'epoca di Esiodo, era comunemente in uso l'anno che constava di 12 mesi di 30 giorni; in epoca più recente, si fece l'anno di 6 mesi *completi* di 30 giorni, e di 6 mesi *incompleti* di 29 giorni. A Solone si attribuisce il merito di avere introdotto in Atene, verso l'anno 594 a. C., la regola di aggiungere alternativamente ogni anno un mese di 30 giorni. Così un periodo di due anni sarebbe formato di 13 mesi ciascuno di 30 giorni, e di 12 ciascuno di 29 giorni, ossia di 735 giorni in tutto, distribuiti in 25 mesi, dando per la durata media dell'anno e del mese 369 giorni e circa 29 giorni e $^1/_2$ rispettivamente. Questa maniera di regolare il tempo fu poscia migliorata con l'introdurre, probabilmente durante il v secolo a. C., l'*octaeteris*, o periodo di otto anni, a tre dei quali si aggiungeva un mese " completo ", mentre i rimanenti anni erano formati come prima di 6 mesi " incompleti ". Con questo modo

di regolare il tempo, la durata media dell'anno si riduceva a 365 giorni ed $^1/_4$, quella del mese rimaneva presso che invariata. Del resto, siccome i Greci annettevano qualche importanza al giorno in cui incominciava il mese, quando la Luna nuova era per la prima volta visibile, era necessario fare, di quando in quando, delle variazioni arbitrarie nel calendario; e così ne risultava una grande confusione, di cui Aristofane fa lamentare la Luna nella sua commedia *Le Nubi* (v. 615 e seg.), rappresentata nel 423 a. C., così:

"Αλλα τ'εὖ δρᾶν φησιν, ὑμᾶς δ'οὐκ ἄγειν τὰς ἡμέρας
Οὐδὲν ὀρθῶς, ἀλλ'ἄνω τεκαὶ κάτω κυδοιδοπᾶν·
"Ωστ' ἀπειλεῖν φησιν αὐτῇ τοὺς θεοὺς ἑκάστοτε,
'Ηνίκ' ἂν ψευσθῶσι δείπνου κἀπίωσιν οἴκαδε,
Τῆς ἑορτῆς μὴ τυχόντες κατὰ λόγον τῶν ἡμερῶν (1).

20. Qualche tempo dopo, l'astronomo *Metone* (nato circa il 460 a. C.) fece la scoperta che la durata di 19 anni si avvicina molto a quella di 235 mesi lunari (essendo infatti la differenza minore di un giorno), ed egli immaginò relativamente un assettamento di 12 anni di 12 mesi e 7 di 13 mesi, 125 dei quali nell'intero periodo erano mesi “ completi „ e gli altri “ incompleti „. Quasi un secolo dopo, *Callippo* fece un lieve miglioramento, col sostituire in ogni 4° periodo di 19 anni un mese “ completo „ con uno “ incompleto „. Se il periodo di *Metone*, così è chiamato, fosse stato o no introdotto nel calendario civile, è incerto, altrimenti esso sarebbe stato usato come campione di ragguaglio, con cui si sarebbe di tanto in tanto regolato il ca-

(1) Eccone la traduzione italiana: « ... Ed il rimanente (la Luna) dice che voi ben facciate, ma che non calcoliate punto esattamente i giorni, e che invece li rimescoliate (*confondiate*) su e giù (*in ogni senso*); sicchè dice che gli Dei la minaccino in ogni occasione, quando restino ingannati nell'aspettativa del banchetto, non ottenendo la festa secondo il calcolo dei giorni... ».

(*N. del Tr.*)

lendario effettivo. L'uso di questo periodo sembra sia stato ben tosto esteso alle altre parti della Grecia, e costituisce la base dell'odierna regola della Chiesa per fissare la Pasqua. La difficoltà di assicurarsi una soddisfacente corrispondenza fra il calendario civile ed i movimenti reali del Sole e della Luna obbligavano a pubblicare di quando in quando delle tavole (παραπέγματα) non diverse dai nostri almanacchi moderni, dando per una serie di anni le date delle fasi della Luna e del sorgere e del tramontare di qualcuna delle stelle fisse, unitamente alle predizioni del tempo. Per la stessa causa, i primi scrittori di agricoltura (per esempio Esiodo) fissavano le date per le operazioni agricole, non col calendario, ma coi tempi del sorgere e del tramontare delle costellazioni, cioè coi tempi, nei quali esse divenivano per la prima volta visibili innanzi il sorgere del Sole, od erano finalmente visibili subito dopo il tramonto del Sole - uso che fu seguíto ancora per molto tempo, dopo di avere stabilito un calendario assai soddisfacente, e *non fu evidentemente abolito nei conteggi ancora* all'epoca di Galeno. (II secolo di C.).

21. Il calendario romano fu nei primi tempi anche più confuso di quello greco. Parrebbe che vi fosse stato in esso ad un tempo un anno o di 304 o di 354 giorni; la tradizione attribuisce a Numa la introduzione di un periodo di quattro anni, che mise il calendario in giusto accordo col Sole; ma fece la durata media del mese assai più corta. Per altro, invece di introdurre ulteriori miglioramenti, i Romani troncarono la quistione con l'incaricare le autorità ecclesiastiche di accomodare di quando in quando il calendario, tanto per metterlo d'accordo con il Sole e con la Luna. Secondo la storia, il primo giorno di ciascun mese veniva annunziato mediante un banditore. O per ignoranza, o, come si addiceva al favoritismo politico e commerciale, i sacerdoti permisero che il calendario cadesse in uno stato di gran confusione; cosicchè bene osservò Voltaire che

“ les généraux romains triomphaient toujours, mais ils ne savaient pas quel jour ils triomphaient „.

Una soddisfacente riforma del calendario fu finalmente fatta da Giulio Cesare durante il breve periodo della sua supremazia su Roma, dietro consiglio dell'astronomo alessandrino *Sosigene*. L'errore nel calendario era salito a tal grado, che fu trovato indispensabile, nel correggerlo, di interpolare tre mesi addizionali in un solo anno (46 a. C.), portando il numero totale dei giorni in quell'anno sino a 445. Per lo avvenire, l'anno fu reso indipendente dalla Luna; l'anno comune fu fatto constare di 365 giorni, essendo stato aggiunto a febbraio un giorno di più ogni quattro anni (il nostro anno bisestile); di modo che la durata media dell'anno sarebbe di 365 giorni ed $^1/_4$.

Il nuovo sistema incominciò con l'anno 45 a. C., e subito fu esteso, col nome di *Calendario Giuliano*, a tutto il mondo civile.

22. Per non ritornare sull'argomento, sarà conveniente trattar qui della sola ultima riforma, qualunque sia la sua importanza.

La differenza fra la durata media dell'anno, come fu fissata da Giulio Cesare, e l'anno vero è così piccola, da ammontare solamente circa ad un giorno in 128 anni. Nell'ultima metà del XVI secolo la data dell'equinozio di primavera era perciò quasi dieci giorni prima di quella, in cui verificavasi all'epoca del Concilio di Nicea (325 di C.), nel quale erano state fissate le regole per l'osservanza della Pasqua. Il papa Gregorio XIII introdusse perciò un piccolo cambiamento nel 1582; furono omessi dieci giorni da quell'anno, e si stabilì che sarebbero anni comuni, cioè di 365 dì, i millesimi 1700, 1800, 1900, 2100, ecc., e bisestili i millesimi 1600, 2000, 2400, ecc. ecc. Il *Calendario Gregoriano* o *Nuovo stile*, come era comunemente chiamato, non venne in Inghilterra adottato fino al 1752, ed allora dovevano essere omessi 11 giorni; e non è stato ancora adottato

in Russia ed in Grecia, e così ora le date sono 12 giorni in ritardo rispetto a quelle dell'Europa occidentale. (1)

23. Mentre i loro predecessori di oriente si erano principalmente limitati alle osservazioni astronomiche, i primi filosofi greci sembra non abbiano fatto immediatamente dopo alcun' osservazione d'importanza, e si siano invece maggiormente interessati a ricercare le cause dei fenomeni. *Talete*, il fondatore della scuola ionica, fu ritenuto dagli ultimi scrittori come quegli che introdusse in Grecia l'Astronomia degli Egiziani verso la fine del VII secolo a. C.; ma tanto Talete, quanto gran parte dei suoi immediati successori, sembra abbiano aggiunto poco o nulla all'Astronomia, eccettuate alcune ed alquanto vaghe speculazioni, come quelle riguardanti la forma della Terra e la sua relazione col resto del mondo (2).

D'altra parte, pare sia stato fatto qualche reale progresso da Pitagora (3) e dai suoi seguaci. Pitagora insegnava che la Terra, come tutti i corpi celesti, è una sfera, e che essa trovasi senza alcun appoggio in mezzo all'universo. Se egli possedesse qualche prova reale per sostenere queste vedute, è dubbio; tuttavia è ragionevole ammettere che egli conoscesse che la Luna risplendeva, perchè il Sole gettava i raggi sopra di essa, e che le fasi fossero prodotte dalla maggiore o minore porzione della metà illuminata rivolta verso di noi; e la forma curva dell'orlo fra la parte illuminata e la parte oscura della luna veniva esattamente interpretata da lui come prova

---

(1) Attualmente il ritardo è di 13 dì, perchè il 1900 fu in Calendario Giuliano bisestile. (*N. del Tr.*)

(2) Vedi, per ulteriori notizie su Talete, il vol. I, pag. 13 del *Breve compendio di Storia delle Matematiche* di Rouse Ball, tradotto in italiano da Gambioli e Puliti. (*N. del Tr.*)

(3) Conosciamo ben poco della sua vita. Egli nacque nella prima metà del VI secolo a. C. e morì alla fine dello stesso secolo o al principio del successivo.

che la Terra fosse sferica, e non un disco piatto, come sembra a prima vista. L'analogia quindi suggerirebbe probabilmente che la Terra pure fosse ritenuta sferica. Quantunque possa ciò essere vero, tuttavia la credenza nella forma sferica della Terra non scomparve mai dal pensiero greco; e, negli ultimi tempi, fu parte dominante dei sistemi greci, d'onde è stata trasmessa presso che invariata, ai tempi moderni. Questa credenza è così duemila anni più antica della credenza della rotazione della Terra e della sua rivoluzione intorno al Sole (Cap. IV), dottrine che siamo qualche volta proclivi ad accoppiare con essa come fondamento dell'Astronomia moderna.

A Pitagora venne pure in mente, forse per la prima volta, un'idea che ebbe una grandissima ed importante influenza sull'Astronomia antica e medioevale. Non soltanto furono supposte le stelle attaccate ad una sfera cristallina, che ruotava intorno ad un asse passante per la Terra; ma ciascuno dei sette pianeti (il Sole e la Luna compresi) si muovevano sopra una sfera propria. Le distanze di queste sfere dalla Terra erano fissate secondo certe nozioni speculative di Pitagora, come i numeri e la musica; quindi le sfere, come esse giravano, producevano suoni armoniosi, che le persone specialmente di ingegno potevano talvolta sentire: questa è l'origine della idea della *musica delle sfere*, che s'incontrano continuamente nelle speculazioni del medioevo e si trovano anche nella letteratura moderna. In un periodo posteriore, queste sfere di Pitagora furono trattate mediante una rappresentazione scientifica dei movimenti dei corpi celesti, che formarono le basi dell'Astronomia fino all'epoca di Keplero (Cap. VII).

24. Il pitagorico *Filolao*, che visse quasi cento anni dopo il suo maestro, mise innanzi, per la prima volta, l'idea del movimento della Terra: pare egli abbia riguardato la Terra, e così il Sole, la Luna ed i cinque pianeti, come ruotanti intorno a qualche foco centrale, la Terra ruotante

intorno al proprio asse, mentre essa si muoveva in giro, evidentemente per assicurarsi che il foco centrale rimanesse sempre invisibile agli abitanti delle parti conosciute della Terra. Che quest'idea fosse una di quelle puramente bizzarre, e del tutto differente dalla dottrina moderna del movimento della Terra, con cui la confusero gli ultimi scrittori, è sufficientemente dimostrato dall'invenzione, come parte del sistema, di un corpo semplicemente immaginario, la contro-terra (ἀντίχθων), che riduceva il numero dei corpi in moto a dieci, numero pitagorico sacro. La suggestione di un' idea così importante come quella del moto della Terra, così ripugnante al senso comune non illuminato, benchè presentata in una forma così cruda, senza alcuna prova, così necessaria per ottenere l'assentimento generale, fu per altro indubbiamente un prezioso contributo all'idea astronomica. È ben degno di essere notato che Copernico nel gran libro, che costituisce la base dell'Astronomia moderna, (cap. IV, § 75), particolarmente cita Filolao ed altri Pitagorici, come autorità per la sua dottrina del movimento della Terra.

Tre altri Pitagorici, appartenenti alla fine del VI secolo ed al V secolo a. C., *Iceta* di Siracusa, *Eraclito* ed *Ecfanto*, sono esplicitamente menzionati dagli ultimi scrittori, come quelli che credevano alla rotazione della Terra.

Un oscuro passo in uno dei Dialoghi di Platone, il *Timeo*, è stato interpretato da molti antichi e moderni commentatori come contenente la credenza della rotazione della Terra; e Plutarco pure ci dice, in parte sull'autorità di Teofrasto, che Platone, in tarda età, adottò la credenza, che il centro dell' universo non era occupato dalla Terra, ma da qualche corpo migliore (1).

Il solo astronomo greco, propriamente detto, che cre-

(1) Teofrasto nacque circa cinquant'anni, Plutarco quasi cinque secoli dopo Platone.

desse al movimento della Terra, era *Aristarco* di Samo, che visse nella prima metà del III secolo a. C.; ed è ben noto per le sue misure delle distanze del Sole e della Luna (§ 32). Egli riteneva che il Sole e le stelle fisse fossero senza moto, che il Sole fosse nel centro della sfera, sulla quale si trovavano le stelle, e che la Terra non solo ruotasse intorno al suo asse, ma descrivesse pure un'orbita intorno al Sole. *Seleuco* di Seleucia, che appartenne alla metà del II secolo a. C., ebbe pure la stessa opinione. Disgraziatamente non conosciamo nulla delle origini di questa credenza nell' uno o nell' altro caso, e le loro vedute sembra abbiano trovato poco favore presso i loro contemporanei o successori.

In relazione a ciò, può ricordarsi pure che Aristotile (§ 27) evidentemente riuscì a far credere che il moto diurno apparente delle stelle si poteva spiegare mediante il moto o delle stelle o della Terra; però egli non accettò l'ultima spiegazione.

25. *Platone* (circa il 428-367 a. C.) non si occupò nei suoi Dialoghi in particolar modo di Astronomia, ma fece numerosi richiami in parecchi passi dei suoi scritti, riguardanti questa scienza. Egli condannò qualunque accurato studio dei veri moti celesti, ritenendolo degradante piuttosto che nobile; e chiaramente riguardò il soggetto come meritevole di attenzione, principalmente a cagione della relazione che lo legava alla geometria, e perchè i moti reali celesti suggerivano i moti ideali di maggior bellezza ed interesse.

Egli confronta questa veduta intorno all'Astronomia con la opinione popolare, secondo la quale questa scienza era utile principalmente per fornire agli agricoltori, ai naviganti e ad altri una conoscenza dei tempi e delle stagioni (1). Alla fine dello stesso Dialogo, egli dà una breve

(1) *Repubblica*, VII, 529-530.

storia dei corpi celesti, secondo la quale il Sole, la Luna, i pianeti e le stelle fisse si muovono in otto ruote o cerchi concentrici ed esattamente disposti intorno ad un asse passante per la Terra. Incominciando dal corpo più vicino alla Terra, l'ordine è il seguente: Luna, Sole, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno, Stelle. Il Sole, Mercurio e Venere si dice che effettuavano le loro rivoluzioni nello stesso tempo, mentre gli altri pianeti si muovevano più lentamente; ciò mostra che Platone, ad ogni modo, conosceva che i movimenti di Venere e Mercurio sono diversi da quelli degli altri pianeti. Egli stabilisce anche che la Luna risplende mediante luce riflessa, ricevuta dal Sole.

Si dice che Platone abbia suggerito ai suoi discepoli, come problema importante, la spiegazione dei moti celesti mediante una combinazione di moti uniformi circolari o sferici. Qualche cosa di somigliante ad un'esatta teoria dei moti celesti, in armonia con l'osservazione reale, tale e quale Ipparco e Tolomeo di poi immaginarono con molto successo, sembrerebbe appena trovarsi in accordo con l'idee di Platone sulla vera Astronomia; ma egli può ben aver desiderato di vedere stabilito qualche semplice ed armonico sistema geometrico, che non fosse stato interamente in discrepanza coi fatti noti.

26. Generalizzando alquanto questa idea di Platone, *Eudosso* di Cnido (circa il 409-356 a. C.) tentò di spiegare le singolarità più ovvie dei moti celesti mediante una combinazione di moti circolari uniformi. Egli può riguardarsi come il rappresentante della transizione dalla Astronomia speculativa alla Astronomia scientifica greca. Come nei sistemi di parecchi dei suoi predecessori, le stelle fisse giacciono in una sfera, che ha un movimento diurno attorno ad un asse passante per la Terra; il moto di ciascuno degli altri corpi viene prodotto da una combinazione di altre sfere, il cui centro giace sulla superficie della precedente. Pel Sole e la Luna erano in ciascun caso neces-

sarie tre sfere; la prima per produrre il moto diurno, che posseggono tutti gli altri corpi celesti; la seconda per produrre il moto annuale o mensile nella direzione opposta lungo l'eclittica; e la terza, col suo asse inclinato sull'asse della precedente, per produrre il moto minore e diverso dall'eclittico. Eudosso, evidentemente, era bene informato che l'orbita della Luna non coincide con l'eclittica, ed anche che la sua orbita non è sempre la stessa, ma varia continuamente, di maniera che era necessario in questo caso una terza sfera; d'altra parte egli non poteva probabilmente essere edotto delle piccolissime deviazioni del Sole dall'eclittica, di cui si occupa l'Astronomia moderna. O quindi egli adoprò osservazioni sbagliate, o, come è più probabile, la terza sfera del Sole fu introdotta per ispiegare un moto puramente immaginario, che fu escogitato esistere per " analogia " col noto movimento della Luna. Per ciascuno dei cinque pianeti erano necessarie quattro sfere, la quarta serviva a produrre le variazioni nella velocità del moto e il cambiamento della direzione del moto lungo l'eclittica (cap. I, § 14 e poi § 51). Così i moti celesti erano abbastanza particolareggiatamente spiegati mediante un sistema di ventisette sfere, una per le stelle, sei per il Sole e la Luna, venti pei pianeti. Non avvi nessuna prova chiara che Eudosso facesse qualche serio tentativo per determinare o la grandezza o il tempo di rivoluzione delle sfere in modo da ottenere qualche esatto accordo coi moti osservati dei corpi celesti, quantunque egli conoscesse con molta esattezza il tempo richiesto da ciascun pianeta, per ritornare alla stessa posizione rispetto al Sole; in altre parole, il suo sistema rappresentava i moti celesti qualitativamente, ma non quantitativamente. D'altra parte, non avvi ragione alcuna di supporre che Eudosso riguardasse le sue sfere (possibilmente eccettuata la sfera delle stelle fisse) come materiali; la sua nota devozione alle matematiche rende probabile che ai suoi occhi (come a

quelli di gran parte degli astronomi scientifici greci che gli successero) le sfere apparissero come semplici figure geometriche, utili come mezzo per risolvere i moti molto complicati in elementi più semplici. Eudosso fu anche il primo greco ricordato, che abbia avuto un osservatorio a *Cnido;* ma abbiamo pochi particolari sul modo col quale vi si adopravano gli istrumenti e come vi si facevano le osservazioni. Dobbiamo per altro a lui la prima descrizione sistematica delle costellazioni (vedi più sotto § 42), quantunque fosse probabilmente basata, in grandissima parte, sulle grossolane osservazioni tolte dai suoi predecessori greci o dagli Egiziani. Egli fu anche un perfetto matematico, e versato in diversi altri rami della scienza.

Subito dopo, *Callippo* (§ 20) sviluppò ulteriormente il sistema delle sfere giranti di Eudosso coll'aggiungere, per ragioni a noi ignote, due sfere per il Sole e due per la Luna, ed una per ciascuno dei pianeti Venere, Mercurio e Marte, portando così il numero totale di esse a trentaquattro (1).

27. Abbiamo una storia abbastanza completa delle vedute astronomiche di *Aristotile* (384-322 a. C.), tanto mediante notizie indirette quanto mediante i due trattati, la *Meteorologica* ed il *De Coelo*, benchè un altro suo libro, che riguarda questo argomento, sia andato disgraziatamente perduto. Egli adottò il sistema planetario di Eudosso e Callippo, ma immaginò su " basi metafisiche " che le sfere avrebbero prodotto certamente effetti disturbatori le une sulle altre; e per rimediare a tale inconveniente, trovò necessario aggiungere ventidue nuove sfere, e così erano in tutto cinquantasei. Contemporaneamente, egli trattò le

(1) Il lettore deve consultare con grande suo profitto due Memorie di G. V. Schiaparelli. La prima col titolo « I precursori di Copernico nell'Antichità », 3a pubblicazione del R. Osservatorio di Brera 1873, e la seconda col titolo « Le sfere omocentriche di Eudosso, di Callippo e di Aristotile » 9a pubblicazione del R. Osservatorio di Brera, 1875. (*N. del Tr.*)

sfere come corpi materiali, convertendo in questo modo un sistema geometrico così bello ed ingegnoso in un intricato meccanismo (1). Le sfere di Aristotile non furono pertanto adottate dai principali astronomi greci che vennero di poi, poichè i sistemi di Ipparco e Tolomeo erano sistemi geometrici fondati sopra idee somiglianti a quelle di Eudosso.

28. Aristotile, in comune con gli altri filosofi dell'epoca sua, credeva che i cieli ed i corpi celesti fossero sferici. Per la Luna egli sostiene questa credenza col ragionamento attribuito a Pitagora (§ 23), cioè che gli aspetti osservati della Luna nelle sue diverse fasi sono quelli che avrebbe assunto un corpo sferico, di cui una sola metà sia illuminata dal Sole. Così la parte visibile della Luna è limitata da due pianeti passanti quasi pel suo centro, perpendicolare rispettivamente alle linee congiungenti il centro della Luna a quelli del Sole e della Terra. La figura 8 rappresenta una sezione fatta con piano passante pei centri del

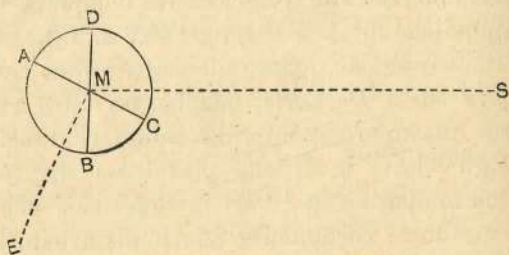



Fig. 8. — *Le fasi della Luna.*

Sole S, della Terra E, e della Luna M, ABC rappresenta in una scala molto ingrandita una sezione della Luna stessa, la parte DAB, che è rivolta dalla banda opposta del Sole, è oscura, mentre la parte ADC, essendo rivolta

(1) Intricato, perchè le cognizioni meccaniche dell'epoca erano del tutto inadeguate a dare qualsiasi spiegazione del modo, col quale queste sfere agivano l'una sull'altra.

verso l'osservatore sulla Terra, è in ogni caso invisibile ad esso. La parte della Luna, che appare illuminata, è perciò quella, la cui sezione è *BC*, o la parte rappresentata da *FBGC* nella fig. 9 (che rappresenta l'intiera Luna), la quale perciò appare ai nostri occhi come terminata da un semicerchio *FCG*, ed una parte *FBG* di una curva ovale (effettivamente un'ellisse).

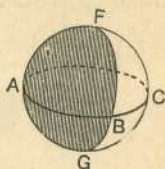



Fig. 9. — *Le fasi della Luna.*

La larghezza di questa superficie illuminata evidentemente varia con le posizioni relative del Sole, della Luna e della Terra; così che, nel corso di un mese, durante il quale la Luna prende successivamente le posizioni relative al Sole ed alla Terra rappresentate con 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, nella fig. 10, le sue parti visibili sono quelle rappresentate dai corrispondenti numeri nella fig. 11; così la Luna passa per le ordinarie fasi: crescente, mezza-piena, di nuovo crescente (1).

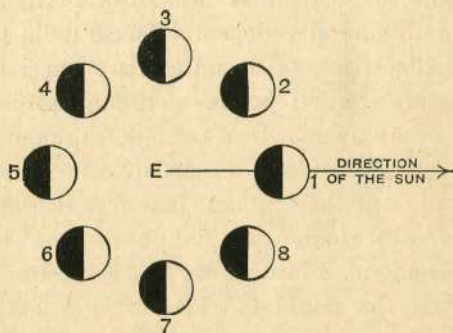



Fig. 10. — *Le fasi della Luna.*

Aristotile quindi arguisce che, siccome un corpo celeste è sferico, perciò

(1) Io qui ho dato l'ordinaria spiegazione delle fasi della Luna, ed il ragionamento l'ho fondato su essa per la forma sferica della Luna, perchè, quantunque probabilmente nota prima di Aristotile, non vi è, per quanto io sappia, nessuna chiara e ben definita storia di questa materia in alcuno dei primi scrittori, e dopo la loro epoca, essa divenne una parte accettata dall'Astronomia elementare greca. Si può fare osservare che la spiegazione è naturale o per la questione della rotazione della Terra o per quella del suo moto intorno al Sole.

tutti gli altri debbono pure avere la stessa forma, e sostiene questa tesi con un altro ragionamento, egualmente inconcludente per noi, che la forma sferica è adatta pei corpi che si muovono, come pare facciano i corpi celesti.

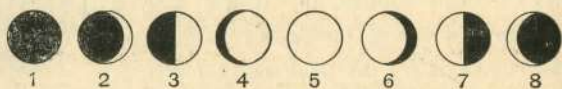



Fig. 11. — *Le fasi della Luna.*

29. Le sue dimostrazioni sulla sfericità della Terra sono più interessanti. Dopo aver discusse e respinte diverse supposte forme, egli dimostrò che un eclisse di Luna è prodotto dall'ombra della Terra che intercetta i raggi del Sole, e ne deduce dalla forma circolare dell'orlo dell'ombra, come si vede sulla faccia della Luna, durante il corso dell'ecclisse, od in un ecclisse parziale, che la Terra deve essere sferica; poichè altrimenti proietterebbe un'ombra di forma diversa. Una seconda ragione per dimostrare la sfericità della Terra è che, quando ci moviamo da nord e da sud, le stelle cambiano le loro posizioni rispetto all'orizzonte, mentre alcune per l'appunto scompaiono ed altre invece prendono il loro posto. Ciò dimostra che la direzione delle stelle ha cambiato, quando la si confronta con l'orizzonte dell'osservatore; quindi la direzione reale delle stelle, essendo impercettibilmente alterata da qualche moto dell'osservatore sulla Terra, gli orizzonti ai due luoghi, nord e sud dell'uno e dell'altro, sono in direzioni diverse, e perciò la Terra è curva.

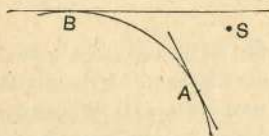



Fig. 12. — *La curvatura della Terra.*

Per esempio, se una stella è visibile ad un osservatore in *A* (fig. 12), mentre ad un osservatore in *B* essa è allo stesso tempo invisibile, cioè occultata dalla Terra, la superficie di essa in *A* deve essere in una direzione diversa da quella in *B*. Aristotile cita inoltre, per dimostrare

la rotondità della Terra, che i viaggiatori dal lontano oriente e dal lontano occidente (per es. l'India od il Marocco) riferivano egualmente sulla presenza degli elefanti; d'onde si inferisce che le due regioni in questione non sono assai lontane *fra loro*. Egli fa pure uso di alcuni ragionamenti alquanto oscuri, di un carattere *aprioristico*.

Vi può essere, per altro, un piccolo dubbio che la disinvoltura, con la quale Aristotile, come gli altri Greci, ammise la forma sferica della Terra e dei corpi celesti, fosse dovuta all'affezione che i Greci sembra sempre abbiano avuto per il cerchio e per la sfera come " perfetti ", cioè figure perfettamente geometriche.

30. Aristotile ragiona contro la possibilità della rivoluzione della Terra intorno al Sole, poichè se questo moto esistesse, dovrebbe produrre un corrispondente moto apparente delle stelle. Noi qui vediamo fare, per la prima volta, una delle più serie fra le molte obbiezioni sollevate sempre contro la credenza nel movimento della Terra, obbiezione in realtà rimossa solamente alla fine durante il secolo XIX con la scoperta, che tal moto delle stelle non si possa vedere che in pochi casi, poichè in conseguenza della quasi inconcepibile grande distanza delle stelle, il moto sia impercettibile, eccetto che coi metodi di osservazione grandemente perfezionati (cfr. cap. XIII, § 278, 279). La questione delle distanze di parecchi corpi celesti vi è pure studiata, ed Aristotile giunge alla conclusione che i pianeti sono più lontani del Sole e della Luna, confortando la sua ipotesi con la sua osservazione di un'occultazione di Marte da parte della Luna (cioè un passaggio della Luna sulla faccia di Marte), e col fatto che simili osservazioni erano state eseguite nel caso di altri pianeti dagli Egiziani e dai Babilonesi. È per altro difficile vedere perchè egli collochi i pianeti più lontani del Sole, siccome egli deve avere conosciuto che l'intenso splendore del Sole rende i pianeti invisibili, quando sono vicini

ad esso, e che nessuna occultazione di pianeti da parte del Sole poteva realmente essere stata veduta, quand'anche essi mi avessero detto che si fossero verificate. Egli osserva anche, come un'opinione dei “ matematici „, che le stelle debbono essere per lo meno nove volte più lontane del Sole.

Vi è anche negli scritti di Aristotile un certo numero di osservazioni astronomiche, basate su nessuna solida prova e di poco valore; così, fra le altre questioni, egli discute la natura delle comete, della Via Lattea e delle stelle, perchè le stelle scintillano, e le cause che producono i diversi moti celesti.

In Astronomia come in altri soggetti, Aristotile sembra abbia raccolto ed eretto a sistema la parte migliore del sapere dell'epoca sua; ma le sue contribuzioni originali non solo non sono paragonabili con quelle da lui fatte nelle scienze psicologiche e morali, ma sono inferiori in valore alla sua opera in altre scienze naturali, per esempio nella Storia Naturale. Disgraziatamente, l'Astronomia greca dell'epoca di Aristotile, ancora in uno stadio primitivo, era quasi cristallizzata nei suoi scritti, e s'invocava la sua grande autorità nei secoli posteriori, dai suoi discepoli, in confronto non intelligenti od ignoranti, a sostegno delle dottrine, che erano abbastanza accettabili ai suoi tempi; ma che successive ricerche mostrarono che non erano attendibili. Il consiglio che egli dà ai suoi lettori, al principio della sua esposizione dei moti planetari, di paragonare le sue vedute con quelle che si presentavano da loro stesse o si trovavano altrove, poteva con vantaggio essere stato notato o seguíto da molti dei così detti Aristotelici del Medio-Evo e del Rinascimento (1).

31. Dopo l' epoca di Aristotile, il centro del pensiero scientifico greco passò in Alessandria. Fondata da Ales-

---

(1) Per esempio, vedi la storia delle controversie di Galileo nel cap. VI.

sandro il Grande (che fu per qualche tempo allievo di Aristotile) nel 332 a. C., Alessandria fu la capitale dell'Egitto durante i regni dei successivi Tolomei. Questi re, specialmente il secondo di essi, soprannominato Filadelfo, erano dei veri mecenati; essi fondarono il famoso Museo, che possedeva una magnifica Biblioteca ed un Osservatorio; ed Alessandria subito divenne la sede di un'importante società di matematici ed astronomi. Durante gli ultimi cinque secoli, i soli astronomi d'importanza, fatta la grande eccezione per Ipparco (§ 77), furono alessandrini.

32. Fra i primi componenti la scuola alessandrina, vi erano *Aristarco* di Samo, *Aristillo* e *Timocare,* tre astronomi quasi contemporanei, appartenenti alla prima metà del III secolo a. C. Le vedute di Aristarco sul movimento della Terra sono già state ricordate (§ 24). Il suo trattato *Sulle grandezze e distanze del Sole e della Luna,* esiste ancora: egli vi dà un metodo assai curioso per determinare le distanze relative del Sole e della Luna. Se, nella figura, *E*, *S* ed *M* rappresentano rispettivamente i centri della

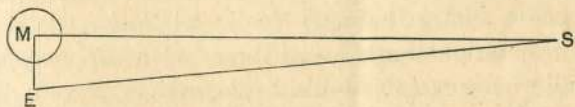



Fig. 13. — *Il metodo di Aristotile per confrontare le distanze del Sole e della Terra.*

Terra, del Sole e della Luna, la Luna evidentemente appare all'osservatore in *S* mezzo piena, quando l'angolo *E M S* è retto.

Se in questo caso è misurata la distanza angolare fra i centri del Sole e della Luna, cioè l'angolo *MES,* allora sono noti due angoli del triangolo *MES;* la sua forma è quindi completamente determinata, ed il rapporto dei suoi lati *EM*, *ES* si può calcolare senza grande difficoltà. Infatti, sapendosi (da un ben noto teorema della geometria elementare) che gli angoli in *E* ed in *S* fanno

insieme un angolo retto, l'angolo in S si ottiene sottraendo l'angolo SEM da un angolo retto.

Aristarco prese l'angolo in S quasi uguale a 3°, e quindi calcolò che la distanza del Sole fosse da diciotto a venti volte quella della Luna, ma in verità il Sole ha circa quattrocento volte la distanza della Luna dalla Terra. Il grave errore è dovuto alla difficoltà di determinare, con sufficiente precisione, il momento in cui la Luna è in quadratura; il limite, che separa le parti illuminata e oscura della faccia della Luna, è in realtà (per le irregolarità della superficie della Luna) una linea mal determinata e spezzata (cfr. fig. 33 e la figura in principio dell' opera), così che l' osservazione, su cui Aristarco fondò il suo criterio, non poteva esser fatta con una certa precisione, anche adoprando i nostri istrumenti moderni, molto meno poi con quelli in uso in quell'epoca. Aristarco, in seguito, calcolò che le grandezze del Sole e della Luna erano quasi uguali (come è dimostrato, per esempio, da un eclisse di Sole, quando la Luna qualche volta nasconde un po' più della superficie del Sole e talvolta non la ricopre intieramente), e dedusse esattamente che i diametri reali del Sole e della Luna erano proporzionali alle loro distanze. Con un metodo fondato sulle osservazioni dell'eclisse, metodo che fu di poi svolto da Ipparco (§ 41), trovò pure che il diametro della Luna era circa un terzo di quello della Terra, risultato molto prossimo al vero; e lo stesso metodo fornì i dati, con cui la distanza della Luna potè, ad un tempo, essere espressa in funzione del raggio della Terra; ma il suo lavoro in questo punto perdè di valore a causa di un calcolo assai inesatto dell'apparente grandezza della Luna (2° invece di $\frac{1°}{2}$) e i suoi risultati pare si contradicano fra loro. Sembra pure che ammettesse che la distanza delle stelle fisse fosse infinitamente grande rispetto a quella del Sole. Tanto le sue opinioni speculative, quanto i suoi risultati effettivi segnano perciò in Astronomia un indiscusso progresso.

Timocare ed *Aristillo* furono i primi a stabilire ed a determinare di nuovo le posizioni delle principali stelle, mediante misure numeriche delle loro distanze dalle loro posizioni fisse nel cielo; e però essi possono essere considerati gli autori del primo vero Catalogo delle stelle, i primi astronomi avendo solo tentato di fissare la posizione delle stelle con descrizioni letterali più o meno vaghe. Essi fecero pure un certo numero di osservazioni importanti dei pianeti, del Sole, ecc., di cui gli astronomi posteriori, specialmente Ipparco e Tolomeo, ne usufruirono largamente.

33. Fra le importanti contribuzioni, che i Greci apportarono all'Astronomia, si deve porre lo sviluppo, principalmente dal punto di vista matematico, delle conseguenze tratte dal movimento della sfera celeste, e da qualcuno dei più semplici moti dei corpi celesti, sviluppo del quale è difficile seguire i diversi passi individuali. Noi abbiamo, per altro, una serie di trattati minori o libri di testo, scritti la maggior parte durante il periodo alessandrino, i quali si occupano di questo ramo dell'Astronomia (conosciuto comunemente col nome di *sferici* o la dottrina delle sfere), di cui i *Phaenomena* del gran geometra *Euclide* (circa 300 a. C.) ne è un grande esempio. Oltre ai punti ed ai circoli della sfera già menzionati (cap. I, §§ 8-11), noi ora troviamo esplicitamente rappresentato l'*orizzonte* od il cerchio massimo, in cui un piano orrizzontale rispetto all'osservatore taglia la sfera celeste, ed il suo polo (1), lo zenit (2) o punto della sfera celeste verticalmente sopra l'osservatore; i *verticali* o cerchi massimi, che passano per lo zenit, tagliano l'orizzonte ad angolo retto; ed i *cerchi di declinazione*, che passano per i poli nord e sud e tagliano l'equatore perpen-

(1) I poli di un cerchio massimo di una sfera sono le estremità di un diametro perpendicolare al piano di essa. Ogni punto del cerchio massimo è alla stessa distanza, 90°, da ciascun polo.

(2) La parola *zenit* è araba, non greca; cfr. cap. III, § 84.

dicolarmente. Un altro cerchio massimo era il *meridiano*, che passa per lo zenit ed i poli. La ben nota Via Lattea era già stata osservata e considerata come formante un altro cerchio massimo. Si hanno pure tracce dei due principali metodi, oggi di uso comune, per indicare la posizione di una stella sulla sfera celeste, cioè col riferirla od all'equatore od all'eclittica.

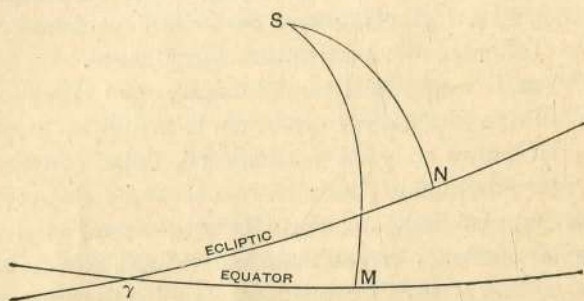



Fig. 14. — *L'equatore e l'eclittica.*

Se per una stella *S* conduciamo nella sfera un arco di cerchio massimo *SN*, che taglia l'eclittica *VN* ad angolo retto in *N*, e un altro cerchio massimo (cerchio di declinazione), che taglia l'equatore in *M*, e se ♈ è il primo punto dell'Ariete (§ 13), ove l'eclittica interseca l'equatore, allora la posizione della stella è completamente determinata o dalle lunghezze degli archi ♈*N*, *NS*, che si chiamano rispettivamente la longitudine e la latitudine celesti, o dagli archi ♈*M*, *MS*, detti rispettivamente l'*ascensione retta* e la *declinazione* (1). Per alcune ragioni è più conveniente trovare la posizione della stella col primo metodo, cioè col riferirla all'eclittica; per altri scopi col secondo metodo, facendo uso dell'equatore.

(1) Gran parte di questi nomi non sono greci, ma di origine più recente.

34. Una delle applicazioni della dottrina delle sfere consisteva nella costruzione degli orologi solari, i quali si suppose che fossero stati importati per la prima volta in Grecia da Babilonia, ma che furono di molto perfezionati dai Greci, e largamente usati tanto al tempo dei Greci, quanto nel Medio-Evo. L'esatta graduazione degli orologi solari, che venivano collocati in diverse posizioni, orizzontale, verticale ed obliqua, richiedeva una gran perizia; e si dava anche molta importanza al tempo, in cui sorgevano o tramontavano le diverse costellazioni, ed a questioni consimili.

35. La scoperta della forma sferica della Terra condusse ad una trattazione scientifica delle varietà fra le stagioni nelle diverse parti della Terra, e ad una corrispondente divisione della Terra in zone. Noi abbiamo già veduto che l'altezza del polo sopra l'orizzonte varia per paralleli differenti; ed era noto, che se un viaggiatore fosse andato abbastanza verso nord, egli avrebbe trovato il polo coincidere con lo zenit, mentre andando a sud per una lunghezza all'incirca eguale avrebbe toccato una regione dove il polo sarebbe sull'orizzonte e l'equatore conseguentemente passerebbe per lo zenit; nelle regioni ancora più lontane a sud, il polo nord sarebbe permanentemente invisibile ed il polo sud apparirebbe sopra l'orizzonte. Inoltre, se nella figura 15 *HEKV* rappresenta l'orizzonte, tagliando l'equatore nei punti est ed ovest *EN*, ed il meridiano *HLZPK* nei punti sud e nord *H* e *K*, *Z* essendo lo zenit e *P* il polo, allora è facile vedere che *LZ* è uguale a *PK*, altezza del polo sopra l'orizzonte. Qualunque corpo celeste, perciò, la cui distanza dall'equatore verso il nord (declinazione) è minore

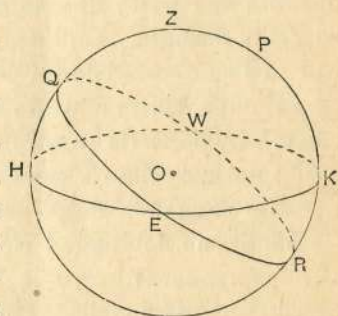



Fig. 115. — *L'equatore, l'orizzonte ed il meridiano.*

di *PK*, taglierà il meridiano a sud dello zenit; se poi la sua declinazione è maggiore di *PK*, lo taglierà a nord dello zenit. Ora la più grande distanza del Sole dall'equatore è eguale all'angolo che fa l'eclittica con l'equatore a circa 23° e $\frac{1}{2}$. Perciò nei luoghi, in cui l'altezza del polo è minore di 23° e $\frac{1}{2}$, il Sole, durante una parte dell'anno, getterà le ombre a mezzodì verso sud. Ciò fu riconosciuto infatti che avveniva non molto lontano dal sud di Alessandria. Fu pure riconosciuto che dall'altra banda dell'equatore vi doveva essere una regione, in cui il Sole ordinariamente getta le sue ombre verso sud, e solo qualche volta verso nord. Queste due regioni costituiscono la zona torrida dei moderni geografi.

Inoltre se la distanza del Sole dall'equatore è 23° e $\frac{1}{2}$, la sua distanza dal polo è 66° e $\frac{1}{2}$; perciò in quelle regioni, in cui l'altezza *PK* del polo nord è maggiore di 66° e $\frac{1}{2}$, il Sole passa all'estate nella regione delle stelle circumpolari, le quali non tramontano mai (cap. I, § 9); e perciò, durante una parte di estate il Sole rimane continuamente sopra l'orizzonte. Similmente, nelle stesse regioni, il Sole è d'inverno così vicino al polo sud, che per un certo tempo esso rimane continuamente sotto l'orizzonte. Le regioni, in cui ciò avviene (le nostre regioni artiche) furono sconosciute dai viaggiatori greci, ma la loro esistenza fu evidentemente segnalata dagli astronomi.

36. Siamo debitori ad *Eratostene* (276 a 195 o 190 a. C.), altro componente la scuola Alessandrina, di uno dei primi calcoli scientifici della grandezza della Terra. Egli trovò che, nel solstizio di estate, la distanza angolare del Sole dallo zenit in Alessandria, a mezzodì, era $\frac{1}{50}$ di un'intiera circonferenza o quasi 7°, laddove a Syene nell'alto Egitto si sapeva che il Sole nello stesso tempo era allo zenit; da ciò egli inferì, supponendo Syene fosse esattamente a mezzodì di Alessandria, che la distanza da Syene ad Alessandria, fosse pure $\frac{1}{50}$ della circonferenza della Terra. Così se nella

figura S denota il Sole, A e B Alessandria e Syene rispettivamente, C il centro della Terra, ed AL la direzione dello zenit ad Alessandria, Eratostene calcolò che l'angolo SAL, che, a causa della grande distanza di S, è sensibilmente eguale all'angolo SCA, era eguale a 7°; e quindi dedusse che l'arco AB stava alla circonferenza della Terra nel rapporto di 7° a 360° o di 1 a 50. Sapendosi che la distanza fra Alessandria e Syene (1) era 5000 stadî, Erotostene ottenne 250,000 stadî come misura della circonferenza della Terra, numero che fu portato a 252,000 stadî, per dare un numero tondo di stadî (700) per ciascun grado di circonferenza della Terra. È evidente che i dati impiegati erano grossolani; quantunque il principio del metodo sia perfettamente valido, tuttavia è difficile valutare l'esattezza del risultato a cagione della incertezza del valore dello *stadio* adoperato. Se, come è probabile, esso fosse l'ordinario stadio olimpico, il risultato sarebbe errato quasi del 20 per cento in eccesso; ma, secondo un'altra interpretazione (2), il risultato sarebbe errato dell'1 per cento, in difetto (cfr. cap. X e § 221).

Fig. 16. — *La misura della Terra.*

Un'altra misura attribuita ad Eratostene era quella della obliquità della eclittica, che si calcola essere $\frac{22}{83}$ di

(1) Syêne corrisponde all'attuale borgo Arabo « Schellal ». (*N. del Tr.*).

(2) Quella di PAOLO TANNERY, *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie Ancienne*, cap. V.

un angolo retto, ossia 23° 51′, in cui l'errore è solo di quasi 7′ (1).

37. Un grande progresso fu fatto in Astronomia da *Ipparco*, e tutti i critici competenti sono stati d'accordo nel collocarlo molto al di sopra di qualunque altro astronomo del mondo antico, e deve stare a fianco dei più grandi astronomi di qualunque epoca. Disgraziatamente è stato salvato soltanto un suo lavoro di nessuna importanza; ed abbiamo conosciuto l'opera d'Ipparco, quasi interamente, per mezzo degli scritti del suo grande ammiratore e discepolo Tolomeo, che visse quasi tre secoli dopo (§ 46 e seguenti). Abbiamo poche notizie intorno alla sua vita. Egli nacque o a Nicea in Bitinia od a Rodi, ove fondò un Osservatorio, e vi scrisse gran parte delle sue opere. Non havvi nessuna prova che egli avesse appartenuto alla scuola Alessandrina, benchè probabilmente visitasse Alessandria e potesse avervi fatto qualche osservazione. Tolomeo parla delle osservazioni fatte da Ipparco nel 146 a. C., nel 126 a. C., e in molti anni intermedi, e così pure di una osservazione alquanto incerta del 161 a. C. Il periodo della sua massima attività deve quindi essersi verificato circa la metà del II secolo a. C.

Prescindendo dalle scoperte astronomiche individuali, i principali servizi, che egli rese all'Astronomia, possono considerarsi sotto quattro punti di vista. Egli inventò o sviluppò grandemente un ramo speciale delle matematiche (2), che metteva in grado di applicare i metodi del calcolo numerico alle figure geometriche tanto nel piano che nella sfera. Egli fece moltissime osservazioni, eseguite con tutta quella esattezza, che gli permettevano i suoi strumenti. Fece uso sistematicamente e criticamente di vecchie osservazioni per confrontarle con le nuove, col pro-

(1) L'obbliquità dell'eclittica è a 1900,0 23° 27′ 8″, quindi all'epoca 200 A. C. era 23° 43′ 29″. (*N. del Tr.*)

(2) La Trigonometria.

posito di scoprire i cambiamenti astronomici troppo lenti per essere svelati durante il tempo della vita di un uomo. Infine impiegò sistematicamente un particolare metodo geometrico (quello degli eccentrici, e con minore estensione quello degli epicicli) per la rappresentazione dei movimenti del Sole e della Luna.

38. Il merito di aver suggerito che i movimenti dei corpi celesti si potevano rappresentare più semplicemente combinando i moti *circolari* uniformi, che facendo ruotare le *sfere* di Eudosso e della sua scuola (§ 26), è generalmente attribuito al grande matematico alessandrino *Apollonio* da Perga, che visse nell'ultima metà del III secolo a. C.; ma non avvi alcuna prova chiara, che egli mettesse ad effetto un vero sistema con ogni suo particolare.

Un ragguaglio della parte importante, che questa idea ebbe in Astronomia per circa 2000 anni, può aversi esaminando in qualche particolare la teoria d'Ipparco riguardante il Sole, l'applicazione più semplice e più felice dell'idea.

Noi abbiamo già veduto (cap. I, § 10) che, oltre al movimento diurno (da est ad ovest) che il Sole ha col resto dei corpi celesti, e del quale qui non abbiamo bisogno di parlare ulteriormente, esso ha pure un movimento annuo sulla sfera celeste in direzione opposta (da ovest ad est), in un'orbita obliqua all'equatore, che fu subito riconosciuta che era un cerchio massimo, chiamato eclittica. Si deve ricordare inoltre che la sfera celeste, sulla quale sembra giacere il Sole, è una mera invenzione geometrica introdotta per comodità. Tutto quello che si ha dalla osservazione diretta, consiste nel cambiamento della direzione del Sole; e quindi il Sole si può conseguentemente supporre che si muova in modo tale, da variare la sua distanza dalla Terra in un modo arbitrario qualunque, purchè solo i cambiamenti della grandezza apparente del Sole, causati dalle variazioni della sua distanza, concordino con quelli osser-

vati, o che, in ogni caso le differenze non siano grandi abbastanza per essere avvertite. Era noto (probabilmente assai prima dell'epoca d'Ipparco) che il movimento apparente del Sole dall'eclittica non è del tutto uniforme, essendo esso in alcune epoche dell'anno lievemente più rapido che in altre.

Supponendo che noi avessimo una serie completa di osservazioni del movimento del Sole in modo da conoscere la sua posizione giornaliera, come faremmo per registrare e descrivere il suo movimento? Per scopi pratici non avvi metodo migliore di quello adottato nei nostri almanacchi, di dare di giorno in giorno, la posizione del Sole; dietro osservazioni, fatte durante parecchi anni, non sarebbe difficile verificare, che il moto del Sole è (dopo aver tenuto conto delle irregolarità del nostro calendario) di anno in anno lo stesso, e di predire in questo modo la posizione del Sole giornalmente negli anni futuri.

Ma è chiaro che una tal descrizione non solo sarebbe lunga, ma così poco soddisfacente per chiunque avesse approfondito la questione dal punto di vista della curiosità intellettuale o dell'interesse scientifico. Una tal persona toccherebbe con mano che questi fatti riferiti particolareggiatamente sarebbero adatti ad essere presentati come conseguenza di qualche esposizione generale più semplice.

Un astronomo moderno farebbe tuttociò rappresentando il movimento del Sole mediante una formula algebrica, cioè rappresenterebbe la velocità del Sole o la sua distanza da qualche punto fisso della sua orbita con qualche espressione simbolica, che contenga una quantità che varia col tempo in un certo modo definito, e mettendo in grado una persona esperta di calcolare con facilità la posizione del Sole in qualunque istante assegnato (1).

(1) Il processo può essere validamente illustrato con un problema più semplice. Un corpo cadendo liberamente sotto l'azione

I Greci per altro non possedevano le cognizioni algebriche richieste per un tal metodo di rappresentazione; ed Ipparco, come i suoi predecessori, fece uso di una rappresentazione geometrica delle variazioni verificate nel movimento del Sole nella eclittica, un metodo di rappresentazione, che è sotto certi rispetti più intelligibile e vivo dell'uso dell'algebra, ma che diviene difficile a maneggiarsi in casi complicati. Il cerchio, essendo la più semplice curva conosciuta, si sarebbe *presentato* al pensiero dell'uomo naturalmente; e siccome qualunque movimento, oltre l'uniforme, richiederebbe per se stesso una rappresentazione speciale, l'idea di Apollonio, adottata da Ipparco, fu di immaginare una conveniente combinazione di moti circolari uniformi.

39. Il modo più semplice, che venne trovato che si confaceva al caso del Sole, fu l'uso dell'*eccentrico*, cioè di un cerchio, il cui centro (C) non coincide con la posizione dell'osservatore sulla Terra (E). Se nella figura 17 un punto (S) descrive il cerchio eccentrico $AFGB$ uniformemente, così che esso passa sempre sopra archi eguali del cerchio in tempi eguali, e l'angolo ACS aumenta uniformemente; allora è evidente che l'angolo AES, o l'apparente distanza di S da A, non aumenta uniformemente. Quando S è vicino al

---

della gravità, si trova (la resistenza dell'aria essendo trascurata) che esso discende circa 16 piedi nel primo minuto secondo, 64 piedi in 2 secondi, 144 piedi in 3 secondi, 256 in 4, 400 in 5 e così via. Questa serie di numeri, continuata per quanto si vuole, verrebbe a soddisfare ai bisogni pratici, completata, se si desidera, dai corrispondenti numeri per le frazioni di secondi; ma i matematici rappresentano gli stessi fatti più semplicemente ed in un modo più soddisfacente per lo spirito umano con la formola: $s = 16t^2$, ove s denota il numero dei piedi discesi, e t il numero dei secondi. Assegnando a t qualunque valore finito, lo spazio corrispondente percorso si ottiene subito. Così il movimento del Sole può essere rappresentato approssimativamente dalla formula più complicata $l = nt + 2\,e\,sen\,nt$, ove l è la distanza da un punto fisso nell'orbita, t il tempo, n ed e certe quantità numeriche.

punto A, che è più lontano dalla Terra, e perciò chiamato l'*apogeo*, a cagione della sua maggiore distanza dall'Osservatore, esso sembra muoversi più lentamente che quando è vicino ad F od a G; e pare muoversi più velocemente quando è vicino a B, il punto più vicino ad E; quindi è detto *perigeo*. Così il moto di S varia nello stesso modo come viene osservato effettivamente il moto del Sole. Prima per altro, che l'eccentrico potesse essere considerato come

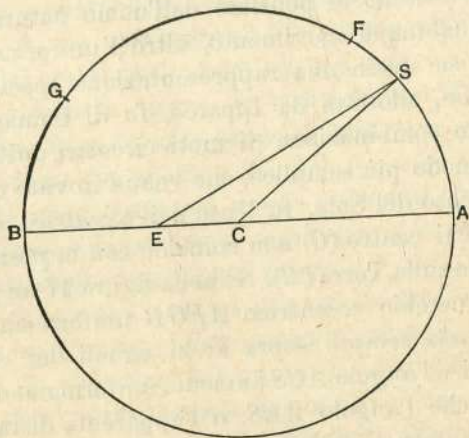



Fig. 17. — *L'eccentrico.*

soddisfacente, era necessario di dimostrare che si poteva scegliere la direzione della linea $BECA$ (la *linea degli apsidi*) che determina le posizioni del Sole, quando si muove più celeremente e quando si muove più lentamente, e la grandezza del rapporto di EC al raggio CA del cerchio (*l'eccentricità*), in modo da potere ottenere le posizioni calcolate del Sole nelle diverse parti della sua orbita in modo che differissero dalle posizioni osservate nei corrispondenti tempi dell'anno di quantità così piccole, che esse si potevano bene attribuire ad errori di osservazione.

Questo problema era molto più arduo di quello che può a prima vista sembrare, a causa della gran difficoltà

incontrata ai tempi dei Greci e molto tempo dopo nel poter fare osservazioni soddisfacenti del Sole. Siccome il Sole e le stelle non sono visibili allo stesso tempo, non è possibile misurare direttamente la distanza del Sole dalle stelle vicine e così fissare la sua posizione nella sfera celeste. Ma è possibile misurare la lunghezza dell'ombra proiettata da un' asta a mezzodì, per assicurarsi con una certa precisione l' altezza del Sole sopra l'orizzonte, e quindi dedurre la sua distanza dall'equatore o la declinazione (fig. 3 e 14). Questa quantità da sola non è sufficiente per fissare la posizione del Sole; ma se anche l'ascensione retta del Sole (§ 33), o la sua distanza orientale ed occidentale dalle stelle, potesse essere esattamente determinata, la sua posizione nella sfera celeste sarebbe completamente determinata.

I metodi acconci per determinare questa seconda quantità erano per altro imperfettissimi. Uno di essi consisteva nel notare il tempo fra il passaggio del Sole per qualche posizione fissa del cielo (per es. il meridiano) ed il passaggio di una stella per lo stesso luogo, e così si determinava la distanza angolare fra essi (la sfera celeste sapendosi che ruota di 15° in un'ora), metodo che coi moderni orologi è estremamente esatto; ma coi rozzi orologi ad acqua o con le clessidre dei primi tempi era incertissimo. In un altro si adoperava la Luna come anello di congiunzione fra il Sole e le stelle, essendo la loro posizione relativa alle ultime osservata di notte, e rispetto al primo di giorno; ma a causa della rapidità del movimento della Luna nell'intervallo fra le due osservazioni, questo metodo pure non era suscettibile di molta esattezza. Nel caso del problema particolare della determinazione della linea degli apsidi, Ipparco fece uso di un altro metodo, e dimostrò un' abilità veramente singolare, quando riconobbe che tanto l'eccentricità, quanto la posizione della linea degli apsidi, si potevano determinare mediante la conoscenza della

durata di due delle stagioni dell'anno, cioè degli intervalli, in cui l'anno è diviso dai solstizi e dagli equinozi (§ 11). Mediante le sue proprie osservazioni e quelle fatte dai suoi predecessori, egli calcolò la durata della primavera (dall'equinozio di primavera al solstizio di estate) in 94 giorni, e che della state (solstizio di estate all'equinozio di autunno) in 92 giorni e $\frac{1}{2}$, la durata dell'anno in 365 giorni

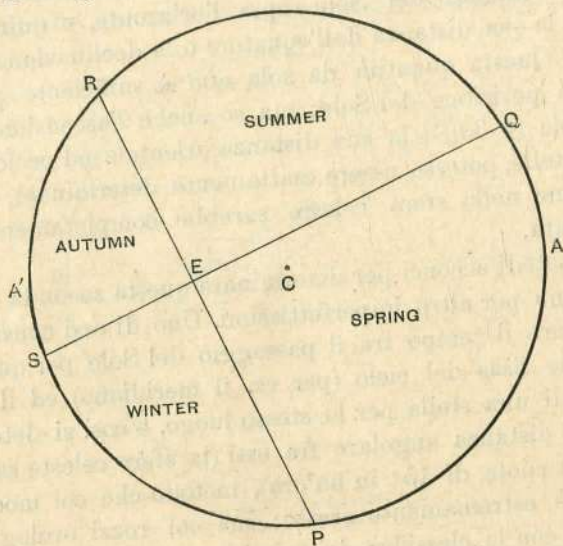



Fig. 18. — *La posizione dell'apogeo del Sole.*

ed $\frac{1}{4}$. Siccome il Sole si muove in ciascuna stagione per la stessa distanza angolare, cioè di un angolo retto, e siccome la primavera è più lunga dell'estate, ne consegue che il Sole si deve, complessivamente, muovere più lentamente durante la primavera che in ogni altra stagione, e che deve perciò passare per l'apogeo nella primavera. Se, perciò, nella figura 18, conduciamo due perpendicolari QES, PER per rappresentare le direzioni del Sole nei solstizi ed equinozi, P corrispondendo all'equinozio di primavera ed R a quello di autunno, l'apogeo deve trovarsi in qualche punto A

fra P e Q. Ciò si può vedere senza adoperare la matematica: l'attuale determinazione della posizione di A e dell'eccentricità è argomento alquanto complesso. L'angolo PEA fu trovato di circa 65°, così che il Sole passerebbe pel suo apogeo circa il principio di giugno; e l'eccentricità fu calcolata di $\frac{1}{24}$.

Essendo così rappresentato geometricamente, il movimento diviene meramente un elemento di non difficilissima calcolazione per costruire una tavola, da cui si può facilmente dedurre la posizione del Sole per ogni giorno dell'anno. Ciò fu fatto calcolando la così detta *equazione del centro*, l'angolo CSE della figura 17, che è l'eccesso della longitudine effettiva del Sole sulla longitudine che esso avrebbe avuta, se si fosse mosso uniformemente.

A causa della imperfezione delle osservazioni usate (Ipparco calcolò che i tempi degli equinozi e dei solstizi potevano solo essere ritenuti esatti entro un limite di circa mezza giornata), i risultati effettivi non si ottennero, secondo le idee moderne, molto esatti; ma la teoria rappresentò il movimento del Sole con un'esattezza quasi eguale a quella delle osservazioni. È bene osservare che, con la stessa teoria, ma con un'approssimazione maggiore nel valore della eccentricità, il movimento del Sole poteva essere rappresentato così esattamente, che l'errore non avrebbe quasi mai superato 1′, quantità insensibile ad occhio nudo.

La teoria d'Ipparco rappresenta le variazioni nella distanza del Sole con molto minore esattezza; e siccome, infatti, il diametro angolare del Sole varia per circa $\frac{1}{30}$ parte di sè stessa, o per circa 1′ nel corso dell'anno, questa variazione, secondo Ipparco, sarebbe circa due volte maggiore. Ma questo errore può anche essere stato quasi impercettibile ai suoi strumenti.

Ipparco vide che il moto del Sole poteva essere egualmente rappresentato in un altro modo suggerito da Apol-

lonio: con l'*epiciclo*. Il corpo, di cui si deve rappresentare il moto, si suppone che si muova uniformemente intorno alla circonferenza di un cerchio, chiamato l' “*epiciclo*”, il centro del quale si muove attorno ad un altro cerchio detto il *deferente*.

È infatti evidente che se un cerchio eguale all'eccentrico, ma col suo centro in E (fig. 19), si prende come deferente, e se S' si prende su questo in modo che ES' sia parallelo a CS, allora $S'S$ è parallelo ed eguale ad EC; e perciò il Sole S, movendosi uniformemente sull'eccentrico, si può lo stesso riguardare come giacente su un cerchio di raggio $S'S$, il cui centro S' si muove sul deferente. Le due costruzioni conducono infatti, in questo problema speciale, egualmente allo stesso risultato; ed Ipparco scelse l'eccentrico come il più semplice.

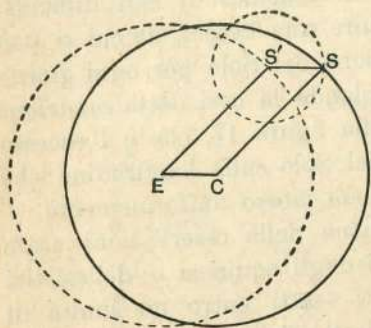



Fig. 19. — *L'epiciclo ed il deferente.*

40. Il movimento della Luna essendo molto più complicato di quello del Sole, ha sempre presentato agli astronomi delle difficoltà (1). Ipparco ebbe bisogno per essa di una costruzione più elaborata. Qualche ulteriore descrizione del movimento della Luna è peraltro necessaria prima di discutere la sua teoria.

Noi abbiamo già parlato (cap. I, § 16) del mese lunare, che è il periodo, durante il quale la Luna ritorna alla stessa posizione rispetto al Sole; più precisamente questo periodo (circa 29 giorni e $\frac{1}{2}$) si dice una *lunazione* o *mese si-*

---

(1) Presentemente vi è ancora una piccola discrepanza fra i luoghi osservati e quelli calcolati della Luna. Vedi cap. XIII, § 290.

nodico: siccome, peraltro, il Sole si muove verso oriente nella sfera celeste come la Luna, ma più lentamente, la Luna ritorna alla stessa posizione rispetto alle *stelle* in un tempo alquanto più breve; questo periodo (circa 27 giorni ed 8 ore) è conosciuto col nome di *mese siderale*. Inoltre, l'orbita della Luna nella sfera celeste è leggermente inclinata sull'eclittica, e la sua projezione sulla volta stellata può riguardarsi approssimativamente come un cerchio massimo che taglia l'eclittica in due *nodi* sotto un angolo, che Ipparco fu probabilmente il primo a fissare definitivamente a circa 5°. Di più, l'orbita della Luna cambia sempre in modo, che l'inclinazione sull'eclittica, rimanendo quasi costante (cfr. cap. IV, § III), i nodi si muovono lentamente retrocedendo (da oriente verso occidente) lungo l'eclittica, compiendo una intiera rivoluzione in 19 anni circa. Perciò è conveniente dare un nome speciale, il *mese dragonitico* (1), al periodo (circa 27 giorni e 5 ore), durante il quale la Luna ritorna nella stessa posizione rispetto ai nodi.

Inoltre il movimento della Luna, come quello del Sole, non è uniforme, essendo le variazioni maggiori che nel caso del Sole. Ipparco sembra essere stato il primo a scoprire che la parte dell'orbita della Luna, in cui il moto è più veloce, non è sempre nella stessa posizione nella sfera celeste, ma si muove continuamente, ossia, in altre parole, che la linea degli apsidi (§ 39) dell'orbita della Luna si muove. Il movimento è progressivo; e viene descritto un circolo completo in quasi nove anni. Quindi nasce una

(1) Il nome è interessante come un avanzo di una primissima superstizione. Gli eclissi che sempre si verificano vicino ai nodi, si supponevano una volta causati da un dragone, che divorava il Sole o la Luna. I simboli ☋ ☊ si usavano ancora per denotare che i due nodi si supponeva rappresentassero la testa e la coda del dragone.

quarta specie di mese, il *mese anomalistico*, che è il periodo, in cui la Luna ritorna all'apogeo od al perigeo.

Ad Ipparco è dovuto il merito di stabilire, con la maggiore esattezza che siasi precedentemente raggiunta, la durata di ciascuno di questi mesi. Per determinarli con esattezza, egli riconobbe l'importanza di paragonare fra loro le osservazioni della Luna, fatte ad una distanza di tempo grande quanto era possibile; e vide che soddisfacenti risultati si potevano ottenere con l'uso del periodo Caldaico, o di altre osservazioni degli ecclissi, che, solo avvengono vicino ai nodi della Luna, d'onde aveansi simultanei segni della posizione della Luna, dei nodi e del Sole.

Per rappresentare questa complicata serie di movimenti, Ipparco usò, come per il Sole, un eccentrico, il cui centro descriveva un cerchio intorno alla Terra in circa 9 anni (corrispondendo al movimento degli apsidi), il piano dell'eccentrico essendo inclinato sull'eclittica di un angolo di 5°, e retrocedendo in modo da rappresentare il movimento dei nodi già descritto.

Il risultato, peraltro, non può essere stato così soddisfacente come nel caso del Sole. La variazione della velocità, con la quale la Luna si muove, non è soltanto maggiore che nel caso del Sole, ma segue una legge meno semplice, e non può essere adeguatamente rappresentata mediante un solo eccentrico; cosicchè, quantunque coi concetti d'Ipparco il movimento della Luna fosse in certe parti della sua orbita rappresentato con molta esattezza, tuttavia vi debbono necessariamente essere state altrove delle discrepanze fra le posizioni calcolate e le osservate. Avvi qualche indizio che Ipparco conoscesse queste differenze; ma non fu capace nè di ricostruire la loro teoria, nè di rendere ragione di esse.

41. Nel caso dei pianeti, Ipparcò trovò così insignificante il corredo di soddisfacenti osservazioni dei suoi predecessori, che egli non fece alcun tentativo per co-

struire un sistema di epicicli o eccentrici per rappresentare il loro moto, ma fece una raccolta di nuove osservazioni per determinare con più esattezza di prima il tempo medio di rivoluzione di parecchi pianeti.

Egli fece pure una soddisfacente determinazione della grandezza e della distanza della Luna, mediante il metodo degli eclissi, la cui idea principale era dovuta ad Aristarco (§ 32); coll'osservare il diametro angolare dell'ombra della Terra ($Q\ R$) alla distanza della Luna all'epoca di un eclisse, e col confrontarlo coi noti diametri angolari del Sole e della Luna, egli ottenne con un semplice calcolo (1), una relazione fra le distanze del Sole e della Luna, che dà o l'una o l'altra, quando è nota una di esse. Ipparco conosceva che il Sole era molto più distante della Luna, e sembra aver verificato più di una distanza, fra le quali quella di

A C D B N L O P F G K E Q M R

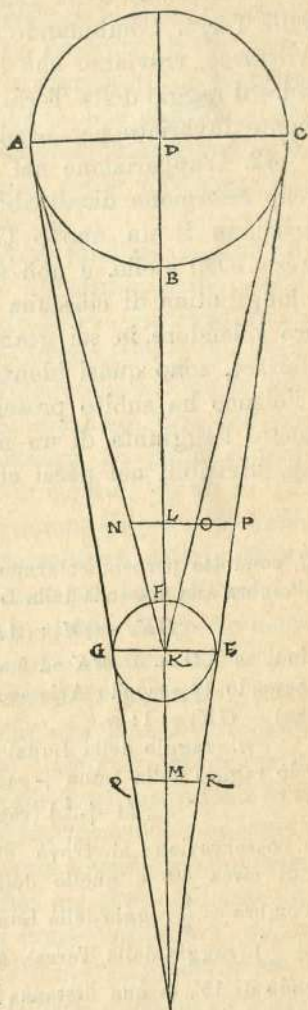



Fig. 20. — *Il metodo degli eclissi per calcolare la distanza del Sole e della Luna.*

(1) Nella figura, che è stata presa dal *De Revolutionibus* di COPERNICO (cap. IV, § 85), siano D, K, M rispettivamente i centri del Sole, della Terra e della Luna, all'epoca di un eclisse della Luna; e siano SQG, SRT i limiti del cono dell'ombra che proietta la Terra; allora

Aristarco; ed il risultato ottenuto in ciascun caso dimostrò che la distanza della Luna era quasi 59 volte il raggio della Terra. Combinando i valori trovati da Ipparco e da Aristarco, troviamo che la distanza del Sole è circa 1200 volte il raggio della Terra, numero che rimase sostanzialmente invariato per secoli (cap. VIII, § 161).

42. L'apparizione nel 134 a. C. di una nuova stella nello Scorpione dicesi abbia suggerito ad Ipparco la costruzione di un nuovo Catalogo di stelle. Egli vi comprese 1080 stelle, e non solo diede la (celeste) latitudine e longitudine di ciascuna di esse, ma le divise, secondo il loro splendore, in sei grandezze. Le costellazioni, a cui si riferisce, sono quasi identiche a quelle di Eudosso (§ 26); e l'elenco ha subìto presentemente ben poche variazioni, eccetto l'aggiunta di un numero di costellazioni meridionali, invisibili nei paesi civili del mondo antico. Ipparco

---

QR, condotta perpendicolarmente all'asse del cono, è la larghezza dell'ombra alla distanza dalla Luna; si ha subito dai triangoli simili:

$$(GK - QM) : (AD - GK) = MK : KD.$$

Quindi se $KD = n. MK$ ed è anche $AD = n.$ (raggio della Luna), $n.$ essendo 19 secondo Aristarco, $(GK - QM) : [n.$ (raggio della Luna) $- GK] = 1 : n$

$$n. \text{(raggio della Luna)} - GK = n. GK - n. QM;$$

perciò raggio della Luna + raggio dell'ombra

$$= \left(1 + \frac{1}{n}\right) \text{(raggio della Terra)}.$$

Con l'osservazione si trovò che il raggio angolare dell'ombra era di circa 40' e quello della Luna 15', così che: il raggio dell'ombra $= \frac{8}{3}$ raggio della Luna; quindi il raggio della Luna $= \frac{3}{11}$ $\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ (raggio della Terra). Ma il raggio angolare della Luna essendo di 15', la sua distanza è necessariamente circa 220 volte il suo raggio, e perciò la distanza della Luna è

$$= 60 \left(1 + \frac{1}{n}\right) \text{raggio della Terra},$$

che è il grossolano risultato d'Ipparco, se n è un numero *qualunque* abbastanza grande.

registrò ancora un numero di casi, in cui tre o più stelle sembrava fossero allineate con un'altra, o, più esattamente, che giacessero in uno stesso cerchio massimo; il suo scopo era di rendere capaci i successivi osservatori di scoprire più facilmente possibile i cambiamenti nelle posizioni delle stelle. Il Catalogo rimase, con lievi modificazioni, uno dei Cataloghi campioni per quasi sedici secoli (cfr. cap. III, § 63).

La costruzione di questo Catalogo condusse ad una notevole scoperta, probabilmente la migliore di tutte quelle, che fece Ipparco. Nel paragonare le sue osservazioni di certe stelle con quelle di Timocare ed Aristillo (§ 33), fatte circa un secolo e mezzo prima, Ipparco trovò che le loro distanze dai punti equinoziali eran cambiate. Così, nel caso della brillante stella Spica, la distanza dai punti equinoziali (misurata verso oriente) era aumentata di 2° in 150 anni, od in ragione di 48″ per anno. Ulteriori ricerche mostrarono che, quantunque la grossolanità delle osservazioni producesse considerevoli cambiamenti nel caso di differenti stelle, tuttavia vi era la prova di un aumento generale nella longitudine delle stelle (misurata da occidente verso oriente), il quale non era accompagnato da alcun cambiamento di latitudine, e complessivamente era calcolato da Ipparco per lo meno di 36″; annualmente e probabilmente anche maggiore. L'accordo fra i movimenti delle differenti stelle era sufficiente per giustificarlo e per concludere che il cambiamento poteva essere considerato non come un movimento delle singole stelle, ma piuttosto come un cambiamento nella posizione dei punti equinoziali, da cui erano misurate le longitudini. Ora questi punti sono le intersezioni dell' equatore e l'eclittica; quindi l' uno o l'altro di questi due cerchi doveva aver cambiato. Ma il fatto, che le latitudini delle stelle non avevano subito alcun cambiamento, mostrava che l'eclittica doveva aver conservato la sua posizione, e che il cambiamento era

stato causato da un moto dell'equatore. Inoltre Ipparco misurò l'obliquità della eclittica come avevano fatto parecchi dei suoi predecessori, ed i suoi risultati non indicarono alcun apprezzabile cambiamento. Ipparco perciò dedusse che l'equatore avrebbe, come doveva, lentamente indietreggiato (cioè da oriente ad occidente), mantenendo una costante inclinazione sull'eclittica.

La cosa può essere resa più chiara dalle figure. Nella figura 21 denoti ΥM l'eclittica, ΥN l'equatore, S una

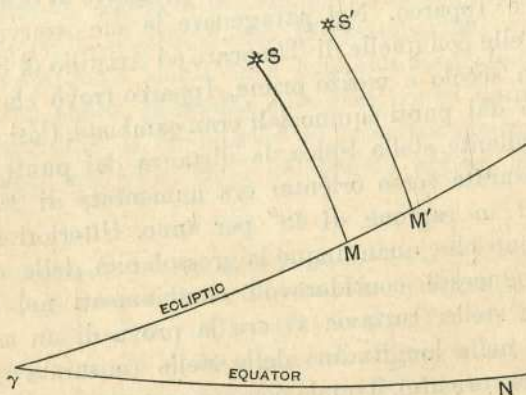



Fig. 21. — *L'incremento della latitudine di una stella.*

stella come fu veduta da Timocare, SM il cerchio massimo, condotto perpendicolarmente all'eclittica. Quindi SM è la latitudine, ΥM la longitudine. S' indichi la stella come fu veduta da Ipparco; quindi trovò che $S'M$ era eguale alla prima SM; ma che $\Upsilon U'$ era maggiore della prima ΥM, o che U' era leggermente ad oriente di U. Questo cambiamento MM' essendo quasi lo stesso per tutte le stelle, era più semplice attribuirlo ad un egual movimento nella direzione opposta del punto Υ', vale a dire da Υ a Υ' (fig. 22), cioè ad un movimento dell'equatore da ΥN a $\Upsilon' N'$, la sua inclinazione $N' \Upsilon' U$ rimanendo eguale al suo

primo ammontare $N \Upsilon U$. Il generale effetto di questo cambiamento è dimostrato in un modo diverso nella fig. 23,

Fig. 22. — *Il movimento dell' equatore.*

ove ♈♈′ ♎ ♎′ è l'eclittica, *ABCD* rappresenta l'equatore come esso appariva all'epoca di Timocare, *A′B′C′D′*, (stampato in rosso) lo stesso nell'epoca di Ipparco, ♈, ♎ essendo le primitive posizioni dei due punti equinoziali, e ♈′, ♎′ le ultime posizioni. Il moto annuale ♈♈′ fu, come è stato detto, stabilito da Ipparco come fosse almeno 36″ (equivalente ad un grado in un secolo), e probabilmente maggiore. Il suo vero valore è considerevolmente maggiore, cioè circa 50″.

Fig. 23. — *La precessione degli equinozi.*

Un'importante conseguenza del movimento dell'equatore così scoperto è che il Sole, nel suo movimento annuo intorno all'eclittica, dopo la sua partenza dal punto equinoziale, ritorna alla nuova posizione del punto equinoziale, un po' prima di ritornare nella sua posizione iniziale rispetto

alle stelle, ed i successivi equinozi avvengono alquanto prima, di quello che sarebbero altrimenti avvenuti. Da questo fatto è derivato il nome di *precessione degli equinozi*, o, più brevemente, *precessione*, che si dà al movimento che abbiamo considerato. Perciò fu necessario riconoscere, come fece Ipparco, due diverse specie di anno, l'*anno tropico*, o periodo necessario al Sole per ritornare alla stessa posizione rispetto ai punti equinoziali, e l'*anno siderale* o

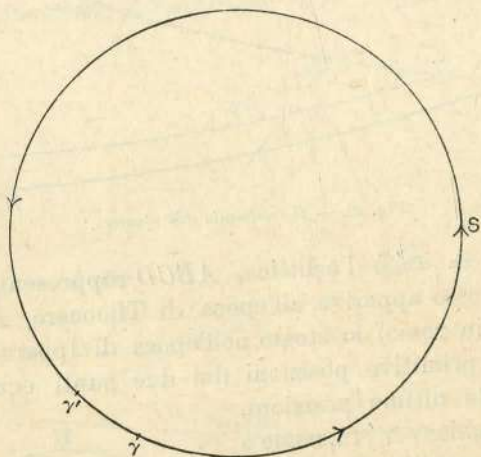



Fig. 24. — *La precessione degli equinozi.*

periodo necessario per ritornare alla stessa posizione rispetto alle stelle. Se ♈♈′ rappresenta il moto del punto equinoziale durante un anno tropicale, allora il Sole, dopo essere partito dal punto equinoziale in ♈, arriva — alla fine di un anno tropico — al nuovo punto equinoziale in ♈′; ma l'anno siderale è solo completo, quando il Sole ha descritto ancora l'arco ♈♈′, ed è ritornato al suo punto iniziale di partenza ♈. Perciò, prendendo il valore moderno 50″ dell'arco ♈♈′, il Sole nell'anno siderale descrive un arco di 360°; nell' anno tropico un arco minore di 50″, ossia di 359° 59′ 10″; le durate dei due anni sono per-

ciò in questa proporzione, e l'ammontare, di cui l'anno siderale supera l'anno tropico, è lo stesso o del rapporto di 50″ a 360° (o 1,296,000″), ed è quindi $\frac{(365 + \frac{1}{4}) \times 50}{1296000}$ giorni o circa 20 minuti.

Un altro modo di esprimere l'ammontare della precessione consiste nel dire che il punto equinoziale descriverà il completo giro dell'eclittica e ritornerà nella stessa posizione dopo circa 26,000 anni.

La durata di ciascuna specie di anno fu pure fissata da Ipparco con considerevole esattezza. Quella dell'anno tropicale fu ottenuta col confrontare i tempi dei solstizi ed equinozi, osservati dai primi astronomi, con quelli osservati da lui stesso. Egli trovò, per esempio, col paragonare la data del solstizio di estate del 280 a. C., osservata da Aristarco di Samo, con quella dell'anno 135 a. C., che il valore di 365 giorni ed $\frac{1}{4}$ per la durata dell'anno doveva essere diminuito di $\frac{1}{300}$ di giorno o circa 5 minuti, valore confermato grossolanamente in altri casi. È interessante osservare, come illustrazione del suo metodo scientifico, che Ipparco discute con una certa cura il possibile errore delle osservazioni, e conclude che il tempo di un solstizio può essere errato per un valore di circa $\frac{3}{4}$ di giorno, mentre quello di un equinozio di $\frac{1}{4}$ di giorno dal vero. Nell'esempio dato il suo metodo indicherebbe un possibile errore di 1 giorno e $\frac{1}{2}$ in un periodo di 145 anni, o circa 15 minuti in un anno. Effettivamente, il suo valore della durata dell'anno è circa sei minuti maggiore, e l'errore è così molto minore di quello, che egli diede come possibile. Nel corso di queste ricerche egli considerò anche la possibilità di un cambiamento nella durata dell'anno, ed arrivò alla conclusione che, quantunque le sue osservazioni non fossero esatte a sufficienza per dimostrare definitivamente la invariabilità

dell'anno, tuttavia non vi era nessuna prova per supporre che essa avesse cambiato.

La durata dell'anno tropico essendo così valutata a 365 giorni, 5 ore, 55 minuti, e la differenza fra le due specie di anno essendo data dalle osservazioni di precessione, l'anno siderale si era verificato che superava 365 giorni ed $\frac{1}{4}$ di circa 10 minuti; risultato che è in armonia quasi esattamente coi valori moderni (1). L'aggiunta di due quantità errate, la durata dell'anno tropico e l'ammontare della precessione, data come un risultato esatto, non era, come sembra a prima vista, un mero accidente. La principale sorgente di errore in ciascuno caso era costituita dai tempi inesatti impiegati di parecchi equinozi e solstizi; quindi gli errori in questi tenderebbero a produrre errori di specie opposte nell'anno tropicale e nella precessione; così che essi, in parte, si compenserebbero fra loro. Questo valore della durata dell'anno siderale fu probabilmente, con qualche estensione, pure verificato da Ipparco mediante il confronto delle osservazioni degli eclissi fatte in epoche differenti.

43. Il grande perfezionamento che Ipparco effettuò nelle teorie del Sole e della Luna naturalmente lo misero in condizione di trattare, più felicemente di qualunque dei suoi predecessori, un problema che, in tutte le epoche, è stato di grandissimo interesse: la predizione degli eclissi del Sole e della Luna.

Che gli eclissi della Luna fossero causati dal passaggio della Luna attraverso l'ombra della Terra, proiettata dal

---

(1) Dalle tavole di Newcomb si hanno i seguenti valori:

Anno tropico $365^d, 24219879 - 0{,}00000614\ T$
Anno siderale $365{,}25636042 + 0{,}00000011\ T$

in cui T è nullo per 1900,0 e vale un secolo giuliano cioè 26525 giorni, cioè al tempo di Ipparco l'anno tropico valeva $365^d\ 5^h\ 48^m\ 57^s{,}1$ e l'anno siderale in eccesso sul tropico di $20^m\ 12^s{,}2$.
(*N. del Tr.*)

Sole, o, in altre parole, dall'interposizione della Terra fra il Sole e la Luna, e gli eclissi del Sole dal passaggio della Luna fra il Sole e l'osservatore, era perfettamente ben noto agli astronomi greci all'epoca di Aristotile (§ 29), e probabilmente molto prima (cap. I, § 17), quantunque la scienza fosse probabilmente limitata comparativamente a poche persone, e i terrori superstiziosi, per lungo tempo, fossero associati agli eclissi.

La difficoltà principale nel trattare gli eclissi dipende dal fatto che l'orbita della Luna non coincide con la eclittica. Se l'orbita della Luna nella sfera celeste fosse identica all'eclittica, allora, una volta ogni mese alla Luna nuova, la Luna (M) passerebbe precisamente fra la Terra ed il

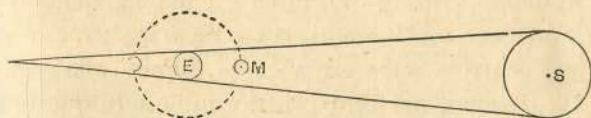



Fig. 25. — *L'ombra della Terra.*

Sole, e quest'ultimo verrebbe eclissato; ed una volta ogni mese pure, a Luna piena, la Luna (M') sarebbe nella direzione opposta al Sole, così veduta dalla Terra, e conseguentemente sarebbe oscurata dall'ombra della Terra.

Siccome, per altro, l'orbita della Luna è inclinata sull'eclittica (§ 40), le latitudini del Sole e della Luna possono differire di 5°, o quando sono in *congiunzione*, cioè quando essi hanno le stesse longitudini, o quando sono in *opposizione*, cioè quando le loro longitudini differiscono di 180°, e saranno allora, nell'uno o nell'altro caso, molto lontani da un eclisse. Se accadrà dunque ad ogni plenilunio o novilunio o no un eclisse, dipenderà principalmente dalla latitudine della Luna in quel tempo, e quindi dalla sua posizione rispetto ai nodi dell'orbita (§ 40).

Se la congiunzione ha luogo quando il Sole e la Luna si trovano vicino ad uno dei nodi (N), come in SM, fig. 26,

il Sole e la Luna saranno così collegati, che allora avverrà un eclisse; ma se essa avviene ad una distanza conside-

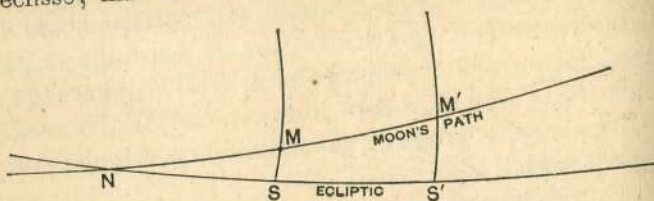



Fig. 26. — *L'eclittica e l'orbita della Luna.*

revole da un nodo, come in $S'U'$, i loro centri sono così lontani, che non ha luogo nessun eclisse.

Ora il diametro apparente o del Sole o della Luna è, come abbiamo visto (§ 32), circa $\frac{1^{\circ}}{2}$; perciò, quando i loro dischi si toccano esattamente, come nelle fig. 27, la distanza dei loro centri è pure circa $\frac{1^{\circ}}{2}$; se quindi alla congiunzione la distanza dei loro centri è minore di questa quantità, avrà luogo un eclisse di Sole; altrimenti non vi sarà nessun eclisse. È facile determinare col calcolo (fig. 26), la lunghezza del lato NS o NM del triangolo NMS, quando SU ha questo valore; ed è pur facile determinare la massima distanza dal nodo, nel quale può avvenire la congiunzione, se accade un eclisse. Un eclisse di Luna può essere trattato nello stesso modo, soltanto che qua si deve trattare con la Luna e con l'ombra della Terra a distanza della Luna. La grandezza apparente dell'ombra è, per altro, considerevolmente maggiore dell'apparente grandezza della Luna, ed ha luogo un eclisse di Luna se la distanza fra il centro della Luna ed il centro dell'ombra è minore di 1° circa. Come precedentemente, è facile calcolare alla distanza della Luna o del centro dell'ombra dal nodo, quando si trovano in opposizione, allo scopo di prevedere se precisamente ha luogo un eclisse. Siccome, per altro, le appa-

Fig. 27.
La Luna ed il Sole.

renti grandezze tanto del Sole, quanto della Luna, e conseguentemente quella pure dell'ombra della Terra, variano secondo le distanze del Sole e della Luna, variazione di cui Ipparco non aveva nessuna esatta conoscenza, il calcolo sarebbe stato realmente molto più complicato di quello, che potesse apparire a prima vista, ed era solo imperfettamente eseguito da lui.

Fig. 28. — *Eclisse parziale di Luna.*

Gli eclissi della Luna sono divisi in *parziali* e *totali;* i primi avvengono quando l'ombra della Luna e della Terra solo parzialmente si sovrappongono, come nella fig. 28; gli ultimi quando il disco della Luna è intieramente immerso nell'ombra (fig. 29). Nello stesso modo, un eclisse di Sole può essere parziale o totale; ma siccome il disco del Sole può essere nello stesso tempo alquanto magggiore di quello della Luna, talvolta pure accade che il disco intiero del Sole è nascosto dalla Luna, salvo un piccolo anello che contermina l'orlo, come nella fig. 30: tale eclisse si dice *anulare.* Siccome l'ombra della Terra alla distanza dalla Luna è sempre maggiore del disco di quest'ultima, non possono aver luogo gli eclissi anulari di Luna.

Fig. 29. — *Eclisse totale di Luna.*

Così gli eclissi si verificano se, e solamente, quando la distanza della Luna da un nodo, al tempo della congiunzione o della opposizione, è compresa entro certi limiti conosciuti approssimativamente; ed il problema di predire gli eclissi poteva essere grossolanamente risoluto da tal conoscenza del movimento della Luna e dei nodi come la possedeva Ipparco. Inoltre, la durata dei mesi sinodico e draconitico (§ 40) essendo una volta accertata, diviene semplice-

Fig. 30. *Eclisse anulare di Sole.*

mente oggetto dell'aritmetica il computo di uno o più periodi; dopo i quali gli eclissi avvengono quasi nello stesso modo. Poichè se ogni periodo di tempo contiene un esatto numero di ogni specie di mesi, e se in ogni tempo avviene un eclisse, allora dopo la durata del periodo, ha luogo di nuovo la congiunzione (o l'opposizione); e la Luna è alla stessa distanza di prima dal nodo e l'eclisse avviene molto prima. Il *Saros*, per esempio (cap. I, § 17), conteneva molto prossimamente 223 mesi sinodici o 242 mesi draconitici, differendo fra loro di meno di un'ora. Ipparco vedeva che questo periodo non potevasi completamente considerare come un mezzo per predire gli eclissi, e dimostrò come potevansi assegnare le irregolarità nel movimento della Luna e del Sole (§ 39,40) che erano ignorate da lui; ma fu incapace a superare le difficoltà, che provenivano dalle variazioni nei diametri apparenti del Sole o della Luna.

Una complicazione, importante per altro, sorge nel caso degli eclissi di Sole, la quale era stata osservata dai primi scrittori, ma Ipparco fu il primo che ne ebbe a trattare. Poichè un eclissi di Luna è un suo reale oscuramento, esso è visibile ad ognuna, ovunque si trovi, e che possa vederlo del tutto; per esempio, i possibili abitanti di altri pianeti, precisamente come noi sulla Terra, possono vedere simili eclissi dei satelliti di Giove. Un eclissi di Sole consiste invece nel togliere semplicemente la luce del Sole ad un osservatore particolare, ed il Sole può perciò essere eclissato ad un osservatore, mentre ad un altro è altrove visibile come sempre. D'onde nel calcolare un eclisse di Sole è necessario prendere in considerazione la posizione dell' osservatore sulla Terra. Il modo più semplice per ottener ciò è di fare assegnamento sulla differenza di direzione della Luna, come si vede da un osservatore nel luogo in questione, e da un osservatore in qualche posizione di riferimento sulla Terra, preferibilmente da un osservatore immaginario al centro di

essa; se, nella fig. 31, *M* denota la Luna, *C* il centro della Terra, *A* un punto sulla Terra fra *C* ed *M* (a cui perciò la Luna è sopra il capo), e *B* un altro punto sulla Terra; allora gli osservatori in *C* (o *A*) e *B* vedono la Luna in posizioni leggermente differenti, *CM*, *BM*; la differenza fra esse è un angolo conosciuto col nome di *parallasse*, che è uguale all'angolo *BMC*, e dipende dalla distanza della Luna, dalla grandezza della Terra, e dalla posizione dell'osservatore in *B*. Nel caso del Sole, in conseguenza della sua grande distanza, anche come fu calcolata dai Greci, la

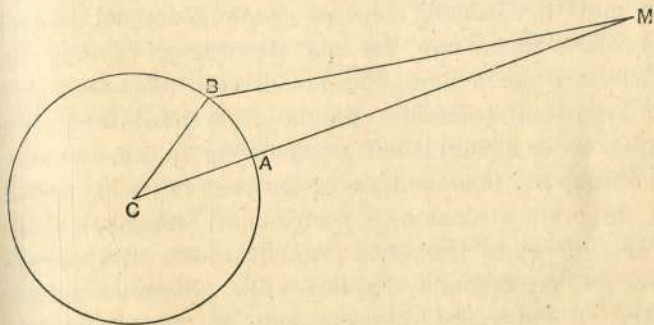



Fig. 31. — *Parallasse.*

paralasse era in tutti i casi troppo piccola per essere presa in considerazione, ma nel caso della Luna la paralasse sarebbe di 1° e non poteva essere trascurata.

Se dunque l'orbita della Luna, come si vede dal centro della Terra, fosse nota, allora l'orbita della Luna, come si vede da qualsiasi luogo particolare sulla Terra, potrebbe essere dedotta con l'assegnare la paralasse, e le condizioni di un eclisse visibile di Sole qui potrebbero essere conseguentemente calcolate.

Dall'epoca di Ipparco in poi gli eclissi lunari si potevano facilmente predire entro i limiti di un'ora o due da un astronomo ordinario qualunque; gli eclissi solari probabilmente con minore esattezza; ed, in entrambi i casi, la

predizione della estensione dell'eclisse, cioè di quella parte di Sole e di Luna che sarebbe stata oscurata, probabilmente lasciava molto a desiderare.

44. I grandi servizi resi all'Astronomia da Ipparco difficilmente possono essere meglio espressi che con le parole del grande storico francese dell'Astronomia, Delambre, che, in generale, è un critico poco benevolo dell'opera dei suoi predecessori:

" Quando consideriamo tutto quello che Ipparco inventò o perfezionò, e riflettiamo sul numero delle sue opere e la mole dei calcoli, che esse contengono, noi dobbiamo riguardarlo come uno dei più straordinari uomini della antichità, e come il più grande di tutti nelle scienze, che non sono semplicemente speculative, e che richiedono una combinazione di cognizioni geometriche unitamente ad una conoscenza dei fenomeni, da essere osservati solo mediante una diligente attenzione e perfezionati istrumenti " (1).

45. Per quasi tre secoli dopo la morte di Ipparco, la storia dell'Astronomia è quasi nulla. Esistono parecchie opere scritte durante questo periodo, le quali mostrano la graduale popolarizzazione delle sue grandi scoperte. Fra le poche cose interessanti contenute in questi libri possiamo osservare primo: il fatto che le stelle non sono necessariamente sulla superficie di una sfera, ma possono essere a distanze diverse da noi, benchè non vi sia alcun mezzo per calcolarli; secondo: una ipotesi, che il Sole e le stelle siano così lontane, che la Terra sarebbe un semplice punto veduto dal Sole ed invisibile dalle stelle; terzo: un nuovo risveglio di una vecchia opinione, tradizionalmente attribuita agli Egiziani (se dal periodo Alessandrino o prima è incerto), che Venere e Mercurio ruotino intorno al Sole. Inoltre sembra che, in questo periodo, fossero stati fatti alcuni

---

(1) *Histoire de l'Astronomie ancienne*, vol. I, pag. 185.

tentativi per spiegare i moti planetari mediante gli epicicli: ma se questi tentativi segnassero qualche progresso, su quanto era stato fatto da Apollonio ed Ipparco, è dubbio.

È pure interessante di trovare in Plinio (d. C. 23-79) il ben noto argomento per la forma sferica della Terra, cioè che quando una barca naviga lontano, gli alberi, ecc. rimangono visibili dopo che il corpo del bastimento è scomparso alla nostra vista.

Una nuova misura della circonferenza della Terra fatta da *Posidonio*, (nato verso la fine della vita di Ipparco) può pure essere notata; egli adottò un metodo simile a quello di Eratostene (§ 36), e giunse a due risultati diversi. L'ultimo valore, cui egli sembra aver dato molta importanza, era 180.000 stadi, risultato che fu quasi altrettanto al di sotto del vero, quanto quello di Eratostene lo fu al di sopra.

46. L'ultimo gran nome nell'Astronomia greca è quello di *Claudio Tolomeo*, comunemente conosciuto col nome di *Tolomeo*, della vita del quale non si conosce nulla, all'infuori che visse in Alessandria quasi nella metà del II secolo d. C. La sua riputazione si fonda principalmente sul suo grande trattato di Astronomia, conosciuto col nome di *Almagesto* (1), che è la fonte da cui son derivate sin dai tempi più remoti la maggior parte delle nostre cognizioni intorno all'Astronomia greca, e che può essere ben riguardata come la Bibbia astronomica del Medio-evo. Parecchi altri minori trattati astronomici ed astrologici sono attribuiti a Tolomeo,

(1) Il principale manoscritto porta il titolo Μεγάλη Σύνταξις, o *Gran Composizione*, quantunque l'autore si riferisca al suo libro Μαθηματική Σύνταξις (*Composizione Matematica*). I traduttori arabi o per ammirazione o per negligenza cambiarono μεγάλη, grande, in μεγίστη più grande, e quindi esso divenne noto agli Arabi come *Al Magisti*, donde il latino *Almagestum* ed il nostro *Almagesto*.

alcuni dei quali non sono probabilmente genuini; ed egli fu pure l'autore di un'importante opera di geografia, e forse di un trattato di *ottica*, che è, per altro, non certamente autentico, e può essere di origine araba. Nell'*ottica* studia, fra gli altri argomenti, la *rifrazione* o la deviazione del raggio luminoso a causa dell'atmosfera della Terra: si osserva che la luce di una stella o di altro corpo celeste S, nell'entrare nella nostra atmosfera (in A) e nel penetrare negli strati inferiori e più densi di essa, si deve gradatamente piegare o *rifrangere;* da ciò risulta che la

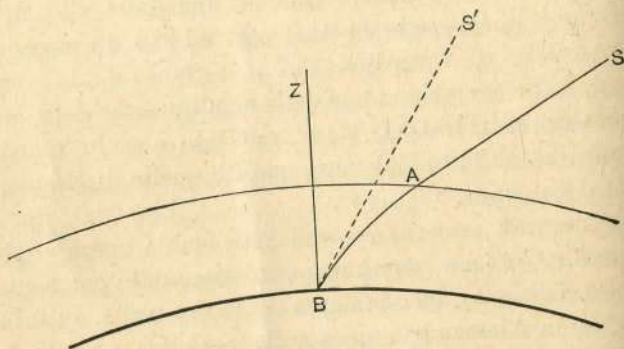



Fig. 32. — *Rifrazione atmosferica.*

stella sembra all'osservatore in B più vicina allo zenit Z di quello che sia realmente; cioè la luce sembra venire da S' invece che da S; è dimostrato inoltre che questo effetto deve essere maggiore per i corpi più vicini all'orizzonte che per quelli vicini alla zenit, la luce della prima attraversando un maggior numero di strati atmosferici; e ciò serve per spiegare certe deviazioni osservate nell'orbita diurna delle stelle, per cui esse appaiono impropriamente più elevate quando sono vicine all'orizzonte. La rifrazione pure serve a spiegare la forma schiacciata del Sole e della Luna, quando sorgono o tramontano, l'orlo inferiore essendo rialzato dalla rifrazione più del superiore; così che

risulta un accorciamento nel diametro verticale, essendo molto minore l'accorciamento orizzontale (1).

47. L' *Almagesto* è prettamente basato in gran parte sull'opera dei primi astronomi, ed in particolare su quella di Ipparco, per cui Tolomeo continuamente esprime la più grande ammirazione e rispetto. Molte cose contenute in quest'opera perciò sono state già precedentemente trattate, e non fa mestieri discuterle particolareggiatamente di nuovo. Il libro rappresenta, per altro, una parte così importante nella storia dell'Astronomia, che vale la pena di dare una breve descrizione del suo contenuto, ed inoltre di trattare più appieno quelle parti, in cui Tolomeo fece importanti progressi.

L'*Almagesto* consta in tutto di tredici libri. I primi due trattano dei fatti più semplici osservati, come, ad esempio, del moto diurno della sfera celeste e dei moti generali del Sole, della Luna e dei pianeti, ed anche di un numero di argomenti connessi con la sfera celeste ed il suo moto, come, per esempio, la durata del giorno ed i tempi del sorgere e del tramontare delle stelle nelle diverse zone della Terra. Vi sono pure date le soluzioni di alcuni importanti problemi matematici (2) ed una tavola matematica (3) di considerevole esattezza ed estensione. Ma le parti più interessanti di questi libri d'introduzione trattano di ciò, che

(1) L'accrescimento apparente dei dischi del Sole o della Luna, quando sorgono o tramontano, non ha nulla a che fare con la rifrazione. Esso è un'illusione ottica che non è molto soddisfacentemente spiegata, identica del resto all'altra per la quale le costellazioni nella vicinanza dell'orizzonte appaiano più ampie che non presso allo zenit, e che di giorno il bleu del cielo ci si manifesta come un semi-elissoide coll'asse minore coincidente con la verticale. (*N. dell'autore modificata dal Tr.*).

(2) Nella trigonometria sferica.

(3) Una tavola di corde (o doppi seni dei semi-angoli) per ogni $\frac{1^{\circ}}{2}$ da 0° a 180°.

possiamo chiamare i postulati dell'Astronomia di Tolomeo (lib. I, cap. II). Il primo di questi ammette che la Terra è sferica; Tolomeo discute e respinge le opinioni incerte o contrarie e dà parecchi dei comuni argomenti positivi per una forma sferica, omettendone, per altro, uno dei più poderosi, l'argomento dell'eclisse trovato in Aristotile (§ 29), forse perchè era troppo recondito e difficile, e aggiunge l'argomento basato sull'aumento della superficie della Terra visibile, quando un osservatore si eleva ad una data altezza. Nella sua Geografia egli accetta il valore dato da Posidonio che la circonferenza della Terra è 180,000 stadi. Ecco gli altri postulati che egli enuncia, e coi quali ragiona: che i cieli sono sferici e girano come una sfera; che la Terra è nel centro dei cieli ed è semplicemente un punto in confronto alla distanza delle stelle fisse, e non ha nessun movimento. La posizione di questi postulati nel trattato e nel metodo generale di procedimento di Tolomeo mostra che egli li considerava non tanto come risultati importanti da essere stabiliti come prova migliore possibile, ma piuttosto come ipotesi più probabili di qualsiasi altre, che l'autore aveva famigliari, su cui basare i calcoli matematici, che avrebbero servito a spiegare i fenomeni osservati (1). La sua attitudine è così essenzialmente differente da quella o dei primi Greci, come, per esempio, Pitagora, o dei controversisti del XVI e del principio del

(1) Il suo procedimento può essere paragonato a quello di un economista politico della scuola di Ricardo, che, per dare grossolanamente una spiegazione dei fenomeni, parte da certe ipotesi semplici come l'umana natura, le quali, comunque sia, sono più plausibili di qualunque altra che sia stata egualmente fatta in modo così semplice, e deduce da esse un numero di conclusioni astratte, la cui applicazione alla vita reale deve essere considerata in casi speciali. Ma la trascurata discussione, che tale scrittore dà delle qualità dell' « uomo economico » non può naturalmente essere riguardata come il suo valore ben determinato e finale della natura umana.

xvii secolo, come, per esempio, Galileo (cap. vi), nei quali la verità o la falsità dei postulati analoghi a quelli di Tolomeo costituiva la vera essenza dell'Astronomia ed era fra gli obbietti finali di ricerca. Gli argomenti che Tolomeo presenta in sostegno dei suoi postulati, argomenti che erano probabilmente i luoghi comuni della scienza astronomica del tempo, ci sembrano, salvo il caso della forma della Terra, bislacchi e di ben poco valore. Gli altri postulati erano infatti appena suscettibili o di prova o di confutazione con la evidenza che Tolomeo aveva a sua disposizione. Il suo argomento in favore della immobilità della Terra è interessante, siccome dimostra la sua chiara percezione che le più ovvie apparenze si possono spiegare tanto con un movimento delle stelle, quanto con un movimento della Terra; egli conclude, per altro, che è più facile attribuire il movimento ai corpi come le stelle, che sembrano essere della natura del fuoco, che alla Terra solida; ed osserva pure la difficoltà di concepire la Terra che possegga un movimento rapido, di cui noi siamo interamente ignari. Egli tuttavia non discute seriamente la possibilità che la Terra o anche Venere o Mercurio possano ruotare intorno al Sole.

Il III libro dell'*Almagesto* tratta della durata dell'anno e della teoria del Sole, ma non aggiunge nulla d'importante all'opera di Ipparco.

48. Il IV libro dell'*Almagesto*, che tratta della durata del mese e della teoria della Luna, contiene una delle più importanti scoperte di Tolomeo.

Noi abbiamo veduto che, prescindendo dal movimento dell'orbita della Luna come un tutto, e dalla rivoluzione della linea degli apsidi, la principale irregolarità o ineguaglianza era la così detta equazione del centro (§§ 39, 40), rappresentata esattissimamente mediante un eccentrico, e dipendente solo dalla posizione della Luna rispetto al suo apogeo. Tolomeo, per altro, scoprì ciò che Ipparco solo sospettò: che vi era un'ulteriore ineguaglianza

nel movimento della Luna - a cui poi fu dato il nome di *evezione* - e che ciò dipendeva in parte dalla sua posizione rispetto al Sole. Tolomeo confrontò le posizioni osservate della Luna con quelle calcolate da Ipparco in diverse posizioni relative al Sole ed all'apogeo, e trovò che, quantunque vi fosse un soddisfacente accordo col novilunio e col plenilunio, vi era tuttavia un considerevole errore, quando la Luna era in quadratura purchè non fosse anche molto vicina al perigeo od all' apogeo. Ipparco fondò la sua teoria della Luna principalmente sulle osservazioni degli eclissi, vale a dire sulle osservazioni prese necessariamente al plenilunio o al novilunio (§ 43); e la scoperta di Tolomeo è dovuta al fatto, che egli verificò la teoria d'Ipparco con le osservazioni fatte in altre epoche. Per rappresentare questa nuova ineguaglianza, fu trovato necessario di adoperare un epiciclo ed un deferente, quest'ultimo essendo esso stesso un cerchio eccentrico mobile, il centro del quale gira intorno alla Terra. Per ispiegare, con qualche estensione, certe rimanenti discrepanze fra la teoria e l'osservazione, che non si presentano nè al novilunio nè al plenilunio, nè alle *quadrature* (semiluna), Tolomeo introdusse ancora una specie di piccola oscillazione di su e giù dell'epiciclo, oscillazione a cui egli diede il nome di prosneuso (πρόσνευσις) (1) (nutazione). Tolomeo riuscì ad

---

(1) L'equazione del centro e dell'evezione si può esprimere trigonometricamente con due termini nella espressione per la longitudine della Luna, $a \text{ sen } \theta + b \text{ sen } (2\varphi - \theta)$, ove a e b sono due quantità numeriche, in numeri rotondi 6° ed 1°, θ è una distanza angolare della Luna dal perigeo, e φ è la distanza angolare del Sole. Alla congiunzione ed all'opposizione φ è 0° o 180°, ed i due termini si riducono a $(a - b) \text{ sen } \theta$. Questa sarebbe la forma, in cui l'equazione del centro si sarebbe presentata da sè stessa ad Ipparco. La correzione di Tolomeo perciò equivale ad aggiungere:

$$b \, [\text{sen } \theta + \text{sen } (2\varphi - \theta)] \text{ o } 2 \, b \text{ sen } \varphi \cos (\varphi - \theta),$$

adottare la sua teoria alle sue osservazioni così bene, che l'errore raramente superava 1°, piccola quantità nell'Astronomia dell'epoca; ed in base a questa costruzione, calcolò le tavole, da cui la posizione della Luna poteva essere determinata in qualunque tempo.

Una delle inerenti deficienze del sistema degli epicicli si presentava in questa teoria in una forma ancora peggiorata. È già stato osservato, rispetto alla teoria del Sole (§ 39), che l' eccentrico e l'epiciclo producevano una variazione errata sulla distanza del Sole, che era tuttavia impercettibile all' epoca dei Greci. Il sistema tolemaico, per altro, supponeva la distanza della Luna quasi doppia di quella degli altri sistemi; e quindi il diametro apparente doveva essere stato alla sua volta non molto maggiore della metà della grandezza ammessa negli altri sistemi - conclusione incompatibile con la osservazione. Sembra probabile che Tolomeo avesse avvertito questa difficoltà; ma fu incapace a superarla; comunque sia, è un fatto significante che quando egli aveva da studiare le ecclissi, onde i diametri apparenti del Sole e della Luna sono d'importanza, rigettasse intieramente i valori che potevano essere stati ottenuti con la sua teoria lunare e ricorresse all'osservazione diretta (cfr. anche § 51, nota).

49. Il V libro dell'*Almagesto* contiene la narrazione della costruzione e dell'uso dello strumento astronomico principale di Tolomeo, che è una combinazione di cerchi graduati co-

---

che si annulla alla congiunzione od opposizione, ma si riduce alle quadrature a $2\, b\, sen\, \theta$, che di nuovo si annulla quando la Luna trovasi all'apogeo o perigeo ($\theta = 0^\circ$ o 180°); ma ha il suo maggior valore quando si trova a mezza strada, allorchè $\theta = 90^\circ$. Dalla costruzione di Tolomeo si ha pure un termine ancora più piccolo della forma: $c\, sen\, 2\, \varphi\, [cos\, (2\, \varphi + \theta) + 2\, cos\, (2\, \varphi - \theta)]$, il quale si osserverà che si annulla alle quadrature come alla congiunzione ed all'opposizione.

nosciuta col nome di *astrolabio* (1). Poi segue una particolareggiata descrizione della parallasse della Luna (§ 43), e delle distanze del Sole e della Luna. Tolomeo ottiene la distanza della Luna col metodo della parallasse, che sostanzialmente è identico a quello ancora in uso. Se noi conosciamo la direzione della retta *CM* (fig. 33), che congiunge i centri della Terra e della Luna, o la direzione della Luna, come è veduta da un osservatore in *A*, ed

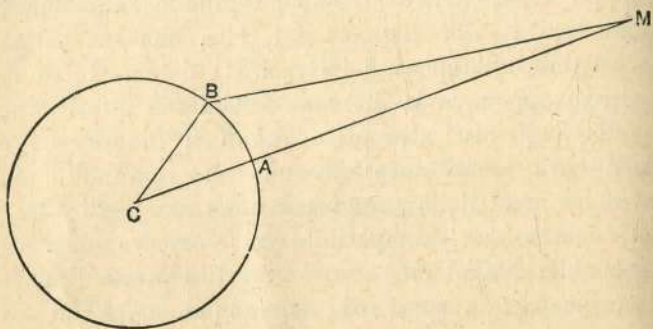



Fig. 33. — *Parallasse.*

anche la direzione della retta *BM*, che è la direzione della Luna, come è veduta da un osservatore in *B*, allora sono noti gli angoli del triangolo *CBM*, ed il rapporto dei lati *CB*, *CM* è pur noto. Tolomeo ottenne le due direzioni mediante le osservazioni della Luna; e quindi trovò che *CM* era cinquantanove volte *CB*, o che la distanza della Luna era eguale a cinquantanove volte il raggio della Terra. Egli perciò impiega il metodo degli eclissi di Ipparco per dedurre la distanza del Sole della Luna, e trova che detta

(1) Qui, come altrove, non ho dato alcuna particolareggiata descrizione degli strumenti astronomici, credendo tali descrizioni in generale nè interessanti, nè intelligibili per coloro che non abbiano gli strumenti effettivamente davanti a sè, e di poca utilità per quelli che li hanno.

distanza è mille e duecento volte il raggio della Terra. Questo numero, che è sostanzialmente il medesimo di quello ottenuto da Ipparco (§ 41), è, per altro, solo circa $\frac{1}{20}$ del vero valore, come è indicato nelle opere moderne (cap. XIII, § 284).

Il VI libro è dedicato agli eclissi, e non contiene sostanziali contribuzioni all'opera di Ipparco.

50. Il VII e l'VIII libro contengono un Catalogo delle stelle, ed una discussione sulla precessione (§ 42). Il Catalogo, che contiene 1028 stelle (tre delle quali sono doppie), sembra quasi identico a quello di Ipparco. Esso non contiene nessuna delle stelle, che erano visibili a Tolomeo in Alessandria, ma non ad Ipparco a Rodi. Inoltre, Tolomeo dichiara di aver dedotto da un confronto delle sue osservazioni con quelle di Ipparco e di altri il valore errato di 36″ per la precessione, che Ipparco aveva dato come il valore minore possibile, e che Tolomeo riguarda come il suo valore definitivo. Ma un esame delle posizioni assegnate alle stelle nel Catalogo di Tolomeo si accorda meglio con le loro reali posizioni al tempo di Ipparco, *corrette per la precessione supposta annualmente in ragione di 36″*, che con le loro vere posizioni al tempo di Tolomeo. Perciò è probabile che il Catalogo complessivamente non rappresenti osservazioni genuine fatte da Tolomeo, ma è sostanzialmente il Catalogo di Ipparco, corretto per la precessione e solo casualmente modificato mediante nuove osservazioni fatte da Tolomeo o da altri.

51. Gli ultimi cinque libri trattano della teoria dei pianeti, la più importante contribuzione originale fatta in Astronomia da Tolomeo. Il problema di dare una soddisfacente spiegazione dei movimenti dei pianeti era, a cagione della loro maggiore irregolarità, molto più difficile che il problema corrispondente per il Sole e la Luna. I movimenti di quest'ultima sono quasi così uniformi, che le loro irregolarità possono comunemente essere riguardate come una specie

di piccole correzioni, e, per molti scopi, possono essere omesse I pianeti tuttavia, come abbiamo veduto (cap. I, § 14), non si muovono per l'appunto sempre da occidente verso oriente, ma si fermano ad intervalli, si muovono in direzione contraria per un certo tempo, si arrestano di nuovo nel loro movimento, e quindi si muovono ancora nella direzione primitiva.

Fu probabilmente riconosciuto nei primi tempi, al più tardi da Eudosso (§ 26), che nel caso di tre dei pianeti, Marte, Giove e Saturno, questi movimenti potevano essere rappresentati grossolanamente col supporre ciascun pianeta oscillare su e giù da ciascuna parte di un pianeta fittizio, che si moveva uniformemente intorno alla sfera celeste nell'eclittica o vicino ad essa, e che Venere e Mercurio potevano finalmente essere riguardati come oscillanti su e giù da ciascuna parte del Sole. Questi movimenti grossolani possono facilmente essere interpretati mediante sfere od epicicli giranti, come fece Eudosso, e, probabilmente anche con maggior precisione Apollonio. Nel caso di Giove, per esempio, possiamo riguardare il pianeta come moventesi in un epiciclo, il cui centro j descrive uniformemente un deferente, il centro del quale è la Terra. Il pianeta allora si vedrà così dalla Terra apparire alternativamente ad oriente (come in I_1), e ad occidente (come in I_2) del pianeta fittizio j; e l' ampiezza della oscillazione in ciascun lato, e l'intervallo fra le successive apparizioni nelle posizioni estreme (I_1, I_2) nell'uno e nell'altro lato, si possono ottenere subito con lo scegliere appropriatamente la grandezza e la velocità del moto dell'epiciclo. È inoltre evidente che, con questa disposizione, il moto apparente di Giove varierà considerevolmente, poichè i due moti - quello sull' epiciclo e quello del centro dell' epiciclo sul deferente - sono talvolta nella stessa direzione, in maniera da accrescere l'effetto l' uno dell'altro, ed, altre volte, in direzioni opposte. Così, quando Giove è più distante

dalla Terra, che è in J_3, il movimento è più veloce; in J_1 e J_2 il movimento come si vede dalla Terra è quasi il medesimo di quello di j; mentre in J_4 i due movimenti sono in direzioni opposte; e la grandezza ed il moto dell'epiciclo essendo stati scelti nel modo sopra indicato, si è trovato infatti che il movimento del pianeta nell' epiciclo è il maggiore dei due moti, e che perciò il pianeta, quando è in questa posizione, sembra che si muova da oriente verso occidente (da sinistra a destra nella figura), come avviene di fatti. Siccome in J_1 e J_2 il pianeta sembra muoversi da occidente verso oriente, ed in J_4 nella direzione opposta, e siccome i bruschi cambiamenti di movimento in Astronomia non si verificano, vi deve essere una posizione fra J_1 e J_4, ed un'altra fra J_4 e J_2, in cui il pianeta ha precisamente cambiata la direzione del movimento, e perciò sembra pel momento essere stazionario. Noi così arriviamo ad una spiegazione dei punti stazionari (cap. I, § 14). Appunto un sistema simile spiega grossolanamente il movimento di Mercurio e di Venere, salvo che il centro dell'epiciclo deve sempre essere nella direzione del Sole.

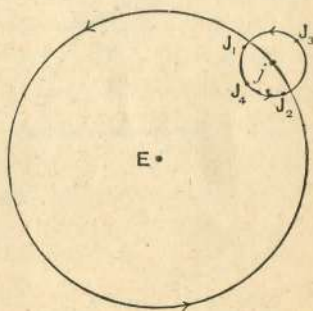



Fig. 34. — *L'epiciclo ed il deferente di Giove.*

Ipparco, come si è veduto (§ 41) trovò le ordinarie rappresentazioni dei moti planetari inesatte, e raccolse un certo numero di nuove osservazioni. Queste osservazioni insieme alle sue proprie furono ora impiegate da Tolomeo per costruire un sistema planetario migliore.

Come nel caso della Luna, egli usò per deferente un cerchio eccentrico (centro C), ma invece di fare muovere il centro j dell' epiciclo uniformemente sul deferente, introdusse un nuovo punto chiamato un *equante* (E'), posto alla

stessa distanza dal centro del deferente, come la Terra, ma sul lato opposto; e regolò il moto di j con la condizione che il moto apparente, *come è veduto dall' equante*, sarebbe uniforme; in altre parole, l'angolo $A\ E'\ j$ doveva aumentare uniformemente. Nel caso di Mercurio (i movimenti del quale sono stati trovati irregolari dagli astronomi in tutti i periodi) la relazione dell'equante col centro dell'epiciclo era differente, e l'ultimo era stato destinato a muoversi in un piccolo cerchio. Le deviazioni dei pianeti dall'eclittica (cap. I, §§ 13 e 14) venivano spiegate con l'inclinare i piani di parecchi deferenti ed epicicli in modo che essi facessero con l'eclittica diversi piccoli angoli. Mediante un sistema di questa specie, architettato con gran cura, ed evidentemente in seguito ad un enorme lavoro, Tolomeo potè rappresentare con molta esattezza i movimenti dei pianeti, come dati dalle osservazioni che egli possedeva.

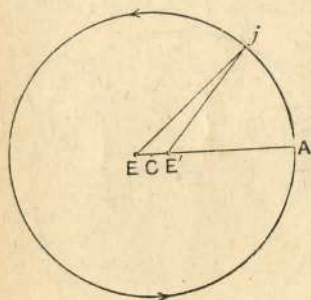



Fig. 35 — *L'equante.*

È stato osservato dai critici moderni, come da alcuni scrittori del Medio-evo, che l'uso dell'equante (che rappresentò anche una piccola parte nella teoria lunare di Tolomeo) era una violazione del principio di impiegare solo i moti circolari uniformi, su cui si supponevano fondati i sistemi di Ipparco e Tolomeo, e che Tolomeo stesso sembrava ignorasse la sua incoerenza. Si può per altro giustamente dubitare se Ipparco o Tolomeo avesse mai avuto una credenza astratta del valore esclusivo di tali moti, o li avesse invece considerati come un modo conveniente, facile ed intelligibile per rappresentare certi moti più complicati; ed è difficile immaginare che Ipparco si fosse fatto maggiore scrupolo del suo gran seguace nell'usare un equante

per rappresentare un movimento irregolare, se egli avesse trovato che il moto era, mediante quel mezzo, rappresentato con esattezza. La critica mi sembra che sia infatti un anacronismo. Gli antichi Greci, la cui Astronomia era speculativa piuttosto che scientifica, ed ancora molti astronomi del Medio-evo, provarono che era necessario di rappresentare su basi *a priori* la " perfezione " dei movimenti celesti col sistema geometrico più " perfetto " o più regolare; cosicchè è assai probabile che Pitagora o Platone, od anche Aristotile, avrebbero fatto opposizione ai metodi di Tolomeo. come alcuni astronomi dei secoli XIV e XV realmente la fecero. Ma qui sembra che non vi sia nessuna buona ragione per attribuire questa attitudine *a priori* agli ultimi astronomi scientifici greci (cfr. anche §§ 38, 47) (1).

Si può osservare che nulla è stato detto riguardo alle effettive distanze dei pianeti; ed infatti, i moti sono insensibili per qualunque alterazione nella scala, sulla quale sono costruiti il deferente e l'epiciclo, purchè entrambi siano fatti variare proporzionalmente. Tolomeo espressamente

---

(1) Il vantaggio derivato dall'uso dell'equante può essere reso più chiaro mediante un confronto matematico col moto eclittico introdotto da Keplero. Nel moto eclittico il moto angolare e la distanza sono rappresentati approssimativamente dalle formule $ut + 2\, e\, sen\, ut$, $a\,(1 - e \cos ut)$ rispettivamente le corrispondenti formule date dall'uso dell'eccentrico semplice sono $nt + e'\, sen\, ut$, $a\,(1 - e' \cos u)t$. Per rendere concordi i moti angolari, dobbiamo perciò prendere $e' = 2\, e$; ma per mettere d'accordo le distanze, dobbiamo prendere $e' = e$; le due condizioni sono perciò incompatibili. Ma coll'introduzione di un equante le formule divengono $ut + 2\, e'\, sen\, ut$, $a\,(1 - e' \cos ut)$, ed entrambe sono d'accordo, se prendiamo $e' = e$. La teoria lunare di Tolomeo sarebbe stata quasi esente da serie difficoltà già notate (§ 48), se egli avesse usato un equante per rappresentare la principale ineguaglianza della Luna; e la sua teoria planetaria sarebbe stata esatta per le piccole quantità di primo ordine con l'uso di un equante tanto pel deferente, quanto per l'epiciclo.

dice che egli non ha alcun mezzo per calcolare numericamente le distanze dei pianeti ed anche di conoscere l'ordine della distanza di parecchi di essi. Egli seguì la tradizione accettando la velocità congetturale del moto come una prova di approssimazione; e pose Marte, Giove, Saturno (che compiono il giro della sfera celeste in circa 2, 12 e 29 anni rispettivamente) al di là del Sole in quell'ordine. Siccome Venere e Mercurio accompagnano il Sole, e quindi si possono riguardare come se compissero in media le loro rivoluzioni in un anno, la prova nel loro caso veniva con qualche estensione a mancare; ma Tolomeo accettò ancora l'opinione degli " antichi matematici „ (cioè probabilmente i Caldei), che Mercurio e Venere si trovino fra il Sole e la Luna, Mercurio essendo più vicino a noi, (cfr. capitolo I, § 15).

52. Fra gli astronomi vi è stata molta disparità di opinioni rispetto ai meriti di Tolomeo. Dal principio alla fine del Medio-evo la sua autorità fu considerata quasi come decisiva in Astronomia, eccetto quando la maggiore autorità attribuita ad Aristotele avesse superato quella di Tolomeo. La critica moderna ha messo in evidenza un fatto, ciò che invero egli mai nasconde, che la sua opera è in gran parte fondata su quella di Ipparco; e che le sue osservazioni, se non realmente inventate, nel maggior numero dei casi erano tuttavia assai meschine. D'altra parte, la sua opera mostra chiaramente che egli era un matematico perfetto ed originale (1). Le più importanti fra le sue vere contribuzioni all'Astronomia furono la scoperta della evezione e la sua teoria planetaria; ma noi dobbiamo probabilmente collocare al di sopra di queste, importanti come sono, i servigi che egli rese col conservare e sviluppare le grandi idee di Ipparco, idee che gli altri astronomi del-

(1) De-Morgan lo classifica come geometra con Archimede, Euclide ed Apollonio, i tre grandi geometri dell'antichità.

l'epoca non furono probabilmente capaci di apprezzare, e che potevano facilmente essere andate perdute, se esse non fossero state incorporate nell'*Almagesto* (1).

53. La storia dell'Astronomia greca finisce praticamente con Tolomeo. L'uso della osservazione cessò così completamente, che solo otto osservazioni si conoscono siano state fatte durante gli otto secoli e mezzo che la separano da Albategno (cap. III, § 59). I scrittori greci, dopo l'epoca di Tolomeo, sono compilatori e commentatori, tali come Teone (che fiorì nel 365 d. C.), a nessuno dei quali si possono attribuire idee originali di qualche importanza. L'uccisione di sua figlia Ipatia (d. Cr. 365), essa stessa pure scrittrice di Astronomia, segna un'epoca nella decadenza della scuola di Alessandria; e la sua fine si verificò nel 640 d. C., quando Alessandria fu presa dagli Arabi (2).

54. Rimane ora da considerare brevemente il valore dei contributi all'Astronomia fatti dai Greci e il loro metodo di ricerca. È evidentemente irragionevole pretendere di trovare una formula breve, che possa definire l'attitudine scientifica di una serie di astronomi, le cui

---

(1) L'Almagesto fu tradotto dal greco in arabo verso l'anno 827 d. C. d'ordine del califfo di Bagdad Almamon. Da una edizione araba Federico II fece eseguire una traduzione latina verso l'anno 1230. L'Almagesto fu stampato la prima volta in latino a Venezia nel 1515 su un codice arabo. Il testo greco non fu conosciuto in Europa che nel secolo XV. Cfr. Lalande, astronomia 1º 366-370.

N. del Tr.

(2) La leggenda, che i libri nella biblioteca servissero per sei mesi come combustibile per le fornaci dei bagni pubblici, è respinta da Gibbon e da altri. Una buona ragione per non accettarla è che in quell'epoca vi erano probabilmente ben pochi libri lasciati per bruciare. (*)

(*) L'incendio della biblioteca di Alessandria. tanto dannoso alla scienza; avvenne non sotto il califfato di Omar, come volgarmente ripetesi, ma quando Cesare sbarcò in Egitto in guerra contro Pompeo. *N. del Tr.*

vite si estendono per un periodo di otto secoli; ed è vano tentare di spiegare l'inferiorità dell'Astronomia greca rispetto alla nostra intorno a qualche principio, per il quale essi non avessero scoperto il metodo d'induzione, e non fossero stati diligenti abbastanza nel procurarsi i fatti, o anche perchè le loro idee non erano chiare.

Nelle abitudini del pensare e negli scopi scientifici il contrasto fra Pitagora ed Ipparco è probabilmente maggiore di quello tra Ipparco da una parte e Copernico od anche Newton dall'altra; mentre non è ingiusto il dire che le idee fantastiche, di cui pure abbonda l'opera di un sì grande scopritore, quale è Keplero (cap. VII, §§ 144, 151) collocano il suo metodo scientifico in qualche modo al disotto di quello del suo grande predecessore.

I Greci ereditarono dai loro predecessori un certo numero di osservazioni, molte delle quali erano state eseguite con grande esattezza, ed erano quasi sufficienti per i bisogni della vita pratica; ma in fatto di teoria astronomica e di speculazione, in cui i loro migliori pensatori erano molto più interessati che nei fatti particolari, essi ricevevano virtualmente un foglio in bianco, in cui dovevano scrivere (da prima con mediocre successo) le loro idee speculative. Un grande lasso di tempo fu evidentemente necessario per gettare un ponte sopra l'abisso, che separa tali premesse come le osservazioni degll eclissi dei Caldei da idee come le sfere armoniche di Pitagora; ed il necessario edifizio teorico non poteva essere costruito senza adoperare i metodi matematici, che dovevano poi essere gradatamente inventati. Che i Greci, nei primi tempi specialmente, ponessero poca attenzione nel fare le osservazioni, è ben provato; ma può giustamente dubitarsi se la raccolta del nuovo materiale per le osservazioni avesse portato veramente l'Astronomia molto più in là del punto, in cui erano pervenuti gli osservatori caldei. Quando le idee speculative, rese definitive dall'ausilio della geome-

tria, furono una buona volta sufficientemente sviluppate da potersi confrontare con la osservazione, solo allora fecesi un rapido progresso. Gli astronomi greci del periodo scientifico, come Aristarco, Eratostene e sopra tutto Ipparco, sembra abbiano seguíto nelle loro ricerche il metodo, che è stato sempre fecondo nelle scienze fisiche, cioè di escogitare delle ipotesi provvisorie, di dedurre le loro conseguenze matematiche, e di paragonare queste coi risultati dell'osservazione. Vi sono ben pochi migliori esempi di genuina circospezione scientifica del modo, onde Ipparco, avendo discusse le teorie planetarie a lui tramandate e veduto la loro insufficienza, deliberatamente si astenne dal fabbricare una nuova teoria su dati, che egli sapeva insufficienti; e pazientemente raccolse nuovo materiale, non adoperato nemmeno da lui stesso, mediante il quale qualche astronomo futuro sarebbe stato capace pervenire ad una teoria migliore.

Fra le reali contribuzioni alla nostra scienza astronomica la più importante che sia stata fatta in qualche modo dai Greci, consiste nella scoperta della forma approssimativamente sferica della Terra, risultato che l'opera moderna ha solo lievemente modificato. Ma la spiegazione dei movimenti principali del sistema solare e la scomposizione di essi in un numero relativamente piccolo di movimenti più semplici, costituirono in realtà una contribuzione assai più importante, quantunque il sistema greco dell'epiciclo sia stato così modellato di nuovo, che, a prima vista, è difficile riconoscere la relazione fra esso e le vedute moderne. La storia in seguito mostrerà per altro che ciascuno stadio nel progresso della scienza astronomica ha intieramente dipeso da quelli che lo precedettero.

Allorchè noi studieremo il grande contrasto nell'epoca di Copernico fra le idee antiche e quelle moderne, le nostre simpatie naturalmente si avvicineranno a quelle, che saranno sostenute per ultime, le quali è ora noto che sono

le più esatte; e siamo proclivi a dimenticare che quelli, di cui allora si parlava in nome dell'Astronomia antica e citati da Tolomeo, erano in vero i credenti delle dottrine, che essi avevano attinto dai Greci; ma i loro metodi di pensare, il loro frequente rifiuto di affrontare i fatti, ed il loro continuo appellarsi all'autorità, erano tutte cose intieramente estranee allo spirito dei grandi uomini, di cui essi stessi credevano essere i discepoli.

CAPITOLO III.

Il medio evo.

> La lampada arde fioca, e per le sbarre della finestra.
> Il grigio mattino traluce fievolmente.
> PARACELSUS DI BROWNING.

55. Circa quattordici secoli trascorsero fra la pubblicazione dell'*Almagesto* e la morte di Copernico (1543), data che in Astronomia è un limite conveniente fra il medio-evo e l'epoca moderna. In questo periodo, quasi due volte maggiore di quello che separa Talete da Tolomeo, quasi quattro volte maggiore di quello che è ora trascorso dalla morte di Copernico, nessuna scoperta astronomica di grande importanza fu fatta. Vi furono alcuni importanti progressi nelle matematiche e fu perfezionata l'arte di osservare; ma l'Astronomia teorica fece a mala pena qualche progresso, e in qualche modo anche abbastanza tardi, poichè le attuali dottrine, se in alcuni punti un po' più esatte di quelle di Tolomeo, erano meno intelligentemente applicate.

Nel mondo occidentale abbiamo già veduto che vi era ben poco da ricordare durante quasi cinque secoli dopo Tolomeo. A quell'epoca seguì quasi un vuoto completo, e parecchi secoli ancora trascorsero prima che vi fosse un qualche apprezzabile risveglio nello interessamento che si era altra volta verificato per l'Astronomia.

56. Frattanto un notevole sviluppo della scienza si verificò in oriente durante il VII secolo. I discendenti di quei barbari Arabi, che avevano fatto sventolare la bandiera di Maometto sopra gran parte dell'Impero romano, e sui paesi che giacciono oltre l'oriente, subito incominciarono a sentire l'influenza della civiltà dei popoli, che essi avevano soggiogato; e Bagdad, che nell'VIII secolo divenne la capitale dei Califfi, si sviluppò rapidamente come centro di letteratura e di attività scientifica. Al Mansur, che regnò dal 754 al 775 d. C., fu considerato quale patrono della scienza e radunò intorno a sè gli uomini dotti tanto dall'India quanto dall'Occidente. Particolarmente sappiamo dell'arrivo alla sua Corte nel 772 di un dotto dell'India, che portò seco un trattato indiano di Astronomia (1), che fu tradotto in arabo per ordine dei Califfi, e rimase il trattato classico per quasi mezzo secolo. Dall'epoca di Al Mansur in poi, un corpo di dotti, nel primo tempo principalmente cristiani assiriaci, lavoravano alla corte dei Califfi a tradurre gli scritti greci, spesso per mezzo dell'assiro, in arabo. Le prime traduzioni fatte furono quelle dei trattati di medicina di Ippocrate e Galeno; le idee aristoteliche, che ancora erano in voga, sembra abbiano stimolato l'interessamento per le opere di Aristotile stesso; e così pure vediamo allargato il campo dei soggetti degni di essere studiati. L'Astronomia seguì subito la medicina, e divenne la scienza favorita degli Arabi, in parte senza dubbio al di fuori del puro interesse scientifico, ma probabilmente ancor più a scopo delle sue pratiche applica-

(1) I dati riguardanti l'Astronomia indiana sono così incerti, e la prova di qualsiasi importante contribuzione originale è così di poco valore, che io ho pensato che non valeva la pena di trattare l'argomento particolareggiatamente. I principali trattati indiani, compreso quello citato nel testo, si vede chiaramente che sono stati fondati sulle opere greche.

zioni. Certe norme religiose maomettane richiedevano la conoscenza della direzione ove si trovava la Mecca, e però molti adoratori, che vivevano un po' dappertutto fra l'Indo e lo stretto di Gibilterra, si convinsero del bisogno di pronte e primitive soluzioni di questo problema, cioè dell'aiuto che l'Astronomia poteva loro dare nel fissare la vera direzione, che era divenuta sede dei maggiori centri di popolazione. Il calendario maomettano, fra gli altri quello lunare, pure richiedeva qualche attenzione, affinchè i digiuni e le feste fossero osservati a tempo debito. Inoltre, la credenza sulla possibilità di predire il futuro mediante le stelle, la quale aveva fiorito fra i Caldei (Cap. I, § 18), ma che per molto tempo non allignò fra i Greci, ora rinacque rapidamente sul propizio suolo orientale, ed i Califfi ebbero interesse nel vedere che gli uomini dotti delle loro Corti fossero maestri tanto in Astrologia, quanto nella stessa Astronomia.

La prima traduzione dell'*Almagesto* fu fatta per ordine del successore di Al Mansur Harun Al Rasid (765 o 766-809 d. C.), l'eroe delle *Notti Arabe.* Sembra peraltro sia stato trovato difficile il tradurre; nuovi tentativi furono fatti da *Honein ben Ishak* (? — 873) e da suo figlio *Ishak ben Honein* (? — 910 o 911); ed una traduzione definitiva di *Tabit ben Korrà* (836-901) apparve verso la fine del IX secolo. Ishak ben Honein tradusse anche parecchi altri libri astronomici e matematici, così che dalla fine del IX secolo, dopo il quale cessarono quasi le traduzioni, era stata tradotta la maggior parte dei libri greci più importanti, che riguardavano questi soggetti come molti trattati minori. A questa attività noi dobbiamo la nostra conoscenza di parecchi libri, di cui sono perduti gli originali greci.

57. Durante il periodo, in cui i Califfi vivevano a Damasco, venne qui fondato un Osservatorio, e ne fu costruito un altro a Bagdad nell'829 dal Califfo Al Mamun,

assai più grandioso. Gli strumenti adoperati erano superiori, tanto in grandezza quanto in perfezione, a quelli dei Greci, benchè in sostanza fossero dello stesso tipo. Gli astronomi arabi introdussero inoltre l'eccellente abitudine di fare osservazioni regolari, e, per quanto era possibile, quasi continue dei principali corpi celesti, come l'uso di osservare le posizioni delle stelle note al principio ed alla fine di un eclisse, in modo da avere poi un esatto ricordo dei tempi della loro ricorrenza. Tanta importanza era congiunta alle osservazioni esatte, che possiam ricordare che quelle di speciale interesse erano registrate in documenti speciali, firmati, sotto giuramento, da un corpo misto di astronomi e legulei.

Al Mamun ordinò che il valore dato da Tolomeo alla grandezza della Terra fosse verificato dagli astronomi. Due misure diverse furono fatte di una parte del meridiano, le quali, benchè si accordassero così esattamente fra loro e col valore errato di Tolomeo, tuttavia non potevano considerarsi quali misure indipendenti ed esatte, ma piuttosto grossolane verificazioni dei valori di Tolomeo.

58. Le esatte osservazioni degli Arabi subito dimostrarono i difetti delle tavole astronomiche greche; e ne furono di tanto in tanto pubblicate delle nuove, fondate in gran parte sugli stessi principî di quelli dell'*Almagesto*; ma coi cambiamenti tanto dei dati numerici, quanto delle grandezze relative dei diversi circoli, delle posizioni degli apogei, e delle inclinazioni dei piani, ecc.

A Tabit ben Korra, nominato sopra come il traduttore dell'*Almagesto*, appartiene l'incerto onore della scoperta di una supposta variazione del valore della precessione (Cap. II, §§ 42, 50). Per ispiegare questo fatto egli immaginò un meccanismo complicato, che produceva un certo cambiamento nella posizione dell'eclittica; in tal modo non introdusse altro che una complicazione ipotetica, conosciuta col nome di *trepidazione*, che scompigliò

ed offuscò gran parte della tavole astronomiche pubblicate durante gli ultimi cinque o sei secoli.

59. Un astronomo, assai più grande di tutti quelli ricordati nei paragrafi precedenti, fu il principe arabo chiamato dal suo luogo di nascita *Al Battani*, e meglio *Albategna*, che fece delle osservazioni dall'878 al 918, e morì nel 929. Egli verificò molti dei risultati di Tolomeo con nuove osservazioni, ed ottenne valori più esatti per l'obliquità dell'eclittica (Cap. I, § 11) e per la precessione. Scrisse anche un trattato sull'Astronomia, che conteneva delle tavole migliorate del Sole e della Luna e la sua più notevole scoperta, cioè che la direzione del punto dell'orbita del Sole, in cui esso è più lontano dalla Terra (l'apogeo), o, in altre parole, che la direzione del centro dell'eccentrico, rappresentante il movimento del Sole (Cap. II, § 39), non era la stessa di quella data nell'*Almagesto*, dal qual cambiamento, troppo grande per essere attribuito a semplici errori di osservazione o di calcolo, poteva bene inferirsi che l'apogeo si moveva lentamente; risultato che per altro egli non stabilì esplicitamente. Albategna fu anche un buon matematico ed autore di alcune importanti semplificazioni nei metodi di calcolo (1).

60. L'ultimo degli astronomi di Bagdad fu *Abal Wafa* (929 o 940-998), autore di un grosso trattato d'Astronomia, conosciuto anch'esso col nome di *Almagesto*, il quale conteneva alcune idee nuove ed era scritto su un piano diverso dal libro di Tolomeo, di cui talvolta è stato supposto esserne la traduzione. Nel discutere la teoria della Luna, Abul Wafa trovò, dopo avere ammessa una irregolarità per l'equazione del centro e per l'evezione, che

(1) Egli introdusse nella Trigonometria l'uso dei *Seni*, e fece anche qualche piccola applicazione delle *tangenti*, senza chiaramente realizzare la loro importanza; adoperò pure alcune nuove formule per la risoluzione dei triangoli sferici.

ve n'era ancora una nel movimento della Luna, la quale era impercettibile alla congiunzione, all'opposizione ed alla quadratura, nè apprezzabile nei punti intermedi. È possibile che Abul Wafa scoprisse una ineguaglianza, di nuovo scoperta da Tycho Brahe (Cap. V, § III), e conosciuta col nome di *variazione*; ma è del pari probabile che egli avesse semplicemente accettato la "prosneusis" di Tolomeo (Cap. II, § 48) (1). Nell'uno o nell'altro caso la scoperta di Abul Wafa sembra sia stata intieramente ignorata dai suoi successori, e pare non abbia dato alcun frutto. Egli fece pure alcuni nuovi progressi nelle matematiche sui suoi predecessori.

Un altro astronomo, quasi contemporaneo, comunemente conosciuto col nome di *Ibn Junos* (?-1008), lavorava sotto la protezione dei governanti maomettani di Egitto. Egli pubblicò una serie di tavole astronomiche e matematiche, le *tavole hakemitiche*, che furono ritenute classiche per quasi due secoli; e nello stesso libro introdusse alcune sue proprie osservazioni, così pure una estesa serie di quelle fatte dai primi astronomi arabi.

61. Circa quest'epoca, l'Astronomia, insieme agli altri rami della scienza, aveva fatto qualche progresso nei dominî maomettani in Ispagna e nella costa opposta d'Africa. Una grande biblioteca ed un'accademia erano state fondate a Cordova circa il 970, ed erano pure stati fondati centri di educazione e d'istruzione successivamente a Cordova, Toledo, Siviglia e nel Marocco.

La più importante opera degli astronomi di questi paesi fu il volume delle tavole astronomiche, pubblicato sotto la direzione di *Arzachel* nel 1080, e conosciuto col nome di *Tavole Toletane*, perchè furono calcolate da un

---

(1) Vi è stata, su questo soggetto, una lunga, ma non esauriente controversia, specialmente fra gli scienziati francesi, rispetto alle relazioni di Tolomeo, Abul Wafa e Tycho.

osservatore a Toledo, ove visse probabilmente Arzachel. Alla stessa scuola sono dovuti alcuni perfezionamenti negli strumenti e nei metodi di calcolo; e furono pubblicati parecchi scritti di critica su Tolomeo, senza peraltro suggerire qualsiasi miglioramento nelle sue idee.

Gradualmente, pertanto, i cristiani spagnuoli incominciarono a respingere i loro vicini maomettani. Cordova e Siviglia furono prese nel 1236 e nel 1248 rispettivamente, e con la loro caduta, l'Astronomia araba scomparve dalla storia.

62. Prima di passare a considerare il progresso dell'Astronomia in Europa, due delle scuole astronomiche più degne d'Oriente debbono essere ricordate, le quali spiegarono entrambe uno straordinario e rapido sviluppo nell'interessamento scientifico fra i popoli barbari. Hulagu Khan, nepote del conquistatore mongolo Genghis Khan, prese Bagdad nel 1258 e qui ebbe fine il governo dei Califfi. Alcuni anni prima di questo fatto, egli aveva accolto con favore, in parte come consigliere politico, l'astronomo *Nassir Eddin* (nato nel 1201 a Tus in Khorussan) e successivamente gli fornì i capitali necessari per la fondazione di un magnifico Osservatorio a Meroga, vicino al nord-ovest dei confini della Persia moderna. Qui lavoravano, sotto la generale direzione di Nassir Eddin, parecchi astronomi. Gli strumenti, che essi adoperavano, eran notevoli per la loro grandezza e per la loro esatta costruzione, e probabilmente erano migliori di alcuni di quelli usati in Europa all'epoca di Copernico, essendo superati però da quelli di Tycho Brahe (Cap. V).

Nassir Eddin ed i suoi assistenti traducevano o commentavano quasi tutti i più utili ed importanti lavori greci di Astronomia e di altri soggetti affini, compresi gli *Elementi* di Euclide, parecchi libri di Archimede, e l'*Almagesto*. Nassir Eddin scrisse pure un compendio di Astronomia, notevole per qualche lieve originalità, ed un trattato

di Geometria. Sembra che egli non abbia accettato l'autorità di Tolomeo senza il dovuto riserbo, e fece particolarmente obbiezione all'uso dell'equante (Cap. II, § 51), che sostituì con una nuova combinazione di sfere. Molti di questi trattati ebbero per lungo tempo una grande reputazione in oriente, e divennero, alla loro volta, oggetto di studio per il commentario.

Ma il gran lavoro degli astronomi di Meroga, che li occupò dodici anni, fu la pubblicazione di una serie riveduta di tavole astronomiche, fondate sulle tavole Hakemite di Ibn Yunos (§ 60), e chiamate, in onore del loro patrono, le *tavole Ilkhaniche*. Esse contenevano non solo le tavole comuni per calcolare i movimenti dei pianeti, ecc., ma anche un catalogo di stelle, fondato in gran parte su osservazioni nuove.

Un importante risultato, ottenuto dalle osservazioni delle stelle fisse, fatte a Meraga, consistè nello stabilire (Cap. II, § 42) la precessione annua di 51″, ossia con un errore quasi di 1″. Nassir Eddin studiò pure la supposta trepidazione (§ 58); ma sembra che egli sia stato un po' esitante rispetto alla esattezza di essa.

Egli morì nel 1273, subito dopo il suo protettore, e con lui la scuola di Meraga ebbe rapidamente fine come era sorta.

63. Circa due secoli dopo, *Ulugh Begh* (nato nel 1394), nepote del selvaggio tartaro Tamerlano, manifestò un grande interessamento personale per l'Astronomia, e costruì, verso il 1420, un Osservatorio a Samarcanda (ora nel Turkestan russo), ove lavorava insieme agli assistenti. Egli pubblicò nuove tavole dei pianeti, ecc.; ma la sua più importante opera fu un catalogo delle stelle, il quale comprendeva quasi le stesse stelle che quello di Tolomeo; ma erano state osservate di nuovo. Questo probabilmente fu il primo catalogo sostanzialmente indipendente, fatto dopo Ipparco. Le posizioni delle stelle erano date con una pre-

cisione insolita, essendo registrati insieme ai gradi della longitudine e latitudine celesti anche i minuti; e, quantunque un confronto con l'osservazione moderna mostri che vi erano ordinariamente errori di parecchi minuti, tuttavia è probabile che gli strumenti adoperati fossero assai buoni. Ulugh Begh fu assassinato dal figlio nel 1449, e con lui cessò l'Astronomia tartara.

64. Nessuna grande idea originale può essere attribuita a qualcuno degli astronomi arabi e ad altri, della cui opera abbiamo appena parlato. Essi avevano, per altro, una notevole attitudine nell'assimilarsi le idee altrui; o nel farle alquanto progredire. Essi erano osservatori pazienti ed esatti ed abili calcolatori. Siamo ad essi debitori di una lunga serie di osservazioni e dell'invenzione e dell'introduzione di parecchi importanti perfezionamenti nei metodi matematici (1). Fra i più importanti servigi da loro resi alla matematica, e quindi all'Astronomia, si deve annoverare l'introduzione, dall'India, del nostro attuale sistema di numerare, per cui il valore di una cifra è cambiato col posto che essa occupa, e non avvi bisogno di nuovi simboli, come negli incomodi sistemi greco e romano, per numeri molto grandi. Fu così introdotta nell'Aritmetica (2) una grande semplificazione. La più importante delle reali contribuzioni originali degli Arabi all'Astronomia fu il servigio che essi resero mantenendo vivo l'interessamento per la scienza e conservando le scoperte dei loro predecessori greci.

Alcune curiose reliquie dell'epoca, in cui gli Arabi erano

---

(1) Per esempio, l'uso di trattare le funzioni trigonometriche come quantità *algebriche* per essere poi espresse con formule, invece di considerarle semplicemente come linee geometriche.

(2) Chi vuole persuadersene, può farlo eseguendo coi numeri romani l'operazione più semplice di moltiplicare per sè stesso un numero, per es. MDCCC X CVIII.

i grandi maestri in Astronomia, sono stati conservati nel linguaggio astronomico. Così abbiamo attinto da essi, ordinariamente in forme molto alterate, i nomi odierni di molte stelle particolari, per esempio Adebaran, Altair, Betelgeux, Rigel, Vega (le costellazioni essendo generalmente conosciute dalle traduzioni latine dei nomi greci), ed alcuni termini greci comuni, come *zenit* e *nadir* (il punto nella sfera celeste opposto allo *zenit*); mentre, almeno, una parola, " almanacco, " è passata nel linguaggio comune.

65. In Europa, il periodo di confusione, che successe alla caduta dell'Impero romano, e precedette la formazione definitiva della Europa feudale, rappresenta quasi una lacuna per l'Astronomia, o veramente per qualunque altra scienza naturale. I migliori intelletti, che non erano assorti nella vita pratica, si occupavano di teologia. Pochi uomini, come il venerabile Beda, erano conosciuti per il loro sapere, che comprendeva in generale alcuni rami della Matematica e dell'Astronomia. Qualche progresso fu fatto da Carlomagno (742-814), che, nell'ordinamento dei suoi estesi domini, fece energici tentativi per dare sviluppo alla educazione ed alla scienza. Nel 782 chiamò alla sua corte il dotto inglese *Alcuino* (735-804) per dettare lezioni di Astronomia, Aritmetica e Retorica, nonchè in altri argomenti; ed invitò altri dotti ad unirsi a lui, formando così una specie di Accademia, di cui Alcuino era il capo.

Carlomagno non solo fondò una scuola superiore nella sua propria Corte, ma fu anche fortunato nello stimolare a seguirlo su questa via le autorità ecclesiastiche delle altre parti del suo dominio. In queste scuole si insegnavano le sette arti liberali, divise nel così detto *trivium* (Grammatica, Retorica e Dialettica) e *quadrivium*, che comprendeva l'Astronomia, insieme all'Aritmetica, alla Geometria ed alla Musica.

66. Nel x secolo, la fama della scienza araba incominciò lentamente a propagarsi dalla Spagna alle altre

parti di Europa; e il grande sapere di *Gerberto*, il più grande erudito del secolo, che fu papa col nome di Silvestro II dal 999 al 1003, fu attribuito in gran parte al tempo che egli passò in Ispagna, o nell'uno o nell'altro dei vicini dominî moreschi. Egli era un fervido studioso, indefesso nel raccogliere e leggere i libri rari; e si occupò specialmente di Matematica e di Astronomia. La sua abilità nel fabbricare gli astrolabi (Cap. II, § 49) ed altri strumenti fu tale, che popolarmente si credeva che egli avesse acquistato la sua grande abilità vendendo la sua anima a Satana.

Altri dotti dimostrarono un simile interessamento per la scienza araba; ma dovè trascorrere ancora un altro secolo prima che s'imponesse l'influenza maomettana.

Al principio del XII secolo, si pose mano ad una serie di traduzioni, dall'arabo in latino, di trattati scientifici e filosofici, in parte di opere originali arabe, in parte di traduzioni arabe dei libri greci. Uno dei più attivi traduttori fu *Platone da Tivoli*, che studiò l'arabo in Ispagna verso il 1116, e tradusse l'*Astronomia* di Albategna (§ 59), come pure altri lavori astronomici. Circa la stessa epoca, gli *Elementi* di Euclide, fra gli altri libri, furon tradotti da *Athelard di Bath*. *Gherardo da Cremona* (1114-1187) fu anche più laborioso, e si dice che abbia fatto circa settanta traduzioni di trattati scientifici, compreso l'*Almagesto* e le *Tavole Toletane* di Arzachel (§ 61).

Il principio del XIII secolo fu notevole per la fondazione di parecchie Università; ed in quella di Napoli (fondata nel 1224) l'imperatore Federico II, che era stato a contatto con la scienza maomettana in Sicilia, radunò parecchi dotti, cui egli ordinò di fare una nuova serie di traduzioni dall'arabo.

I lavori di Aristotile sulla Logica erano stati conservati nelle traduzioni latine dai tempi classici, ed erano già molto stimati dai dotti dei secoli XI e XII. Le altre

Opere di Aristotile furono la prima volta trovate in traduzioni arabe, e furono tradotte in latino, durante la fine del XII secolo e durante il XIII; in uno o due casi furono anche fatte le traduzioni dall'originale greco. L'influenza di Aristotile sopra il pensiero medioevale, già grande, subito divenne quasi grandissima; e le sue Opere furono da molti dotti riguardate con una venerazione eguale o maggiore di quella avuta per i Santi Padri.

La coltura occidentale nell'Astronomia araba fu moltissimo aumentata dall'attività di *Alfonso X*, di Leone e Castiglia (1223-1284), che ragunò a Toledo, da poco ritolta agli Arabi, un corpo di dotti, ebrei e cristiani, che calcolarono sotto la sua generale direzione una serie di nuove tavole da sostituirsi alle *Tavole Toletane*. Queste *Tavole Alfonsine* furono pubblicate nel 1252, nel dì dell'esaltazione al trono di Alfonso; e furono rapidamente divulgate per l'Europa. Esse non contenevano nessuna idea nuova; ma parecchi dati numerici, specialmente la durata dell'anno, erano esposti con maggiore esattezza di prima. È dovuta pure ad *Alfonso* la pubblicazione del *Libros del Saber*, grossa enciclopedia della scienza astronomica di quell'epoca, che, quantunque fosse stata compilata in gran parte attingendo a fonti arabe, tuttavia non era, come si è qualche volta creduto, una semplice raccolta di traduzioni. Fra le curiosità di questo libro avvi un disegno rappresentante l'orbita di Mercurio come una ellisse, ove la Terra ne occupa il *centro* (cfr. Cap. VII, § 140); ciò probabilmente è la prima traccia dell'idea di rappresentare i moti celesti mediante curve di forme *diverse* dal cerchio.

67. Al XIII secolo appartengono pure parecchi dei grandi scienziati, come *Alberto Magno, Ruggero Bacone* e *Cecco d'Ascoli* (da cui imparò Dante), che s'impadronirono di tutta la scienza del loro paese. Ruggero Bacone, che nacque nella Contea di Somerset verso il 1214 e morì verso

il 1294, scrisse tre opere principali, chiamate rispettivamente l'*Opus Majus, Opus Minus* ed *Opus Tertium*, che contenevano non solo trattati in gran parte riguardanti le diverse parti della scienza, ma anche interessantissime discussioni sulla loro importanza e sul vero metodo per farla progredire. Egli censura vivamente chi accetta senza discussione l'autorità, specialmente quella di Aristotile, i cui libri egli desidera fossero bruciati; e parla con gran calore della importanza dell'esperimento e del ragionamento matematico nelle ricerche scientifiche. Pare evidente che egli conoscesse profondamente l'Ottica; e si è ritenuto pure che conoscesse il Telescopio, ipotesi che noi possiamo appena riguardare come confermata dalla storiella che l'invenzione fosse già nota a Cesare; il quale, quando era in procinto d'invadere la Bretagna, ispezionava la nuova regione dalle spiagge opposte della Gallia con un telescopio!

Un altro libro famoso di questo periodo fu scritto da *Giovanni Halifax* o *Holywood* della Contea di York, meglio conosciuto sotto il nome latinizzato di *Sacrobosco*, che fu per qualche tempo ben noto professore di matematica a Parigi, ove morì verso il 1256. La sua *Sphaera Mundi* era un trattato elementare sulle parti più facili dell'Astronomia ordinaria, ove si studiano infatti ben pochi e solamente i più ovvî risultati del moto diurno della sfera celeste. Essa godè una grande popolarità per tre o quattro secoli, e fu spesso ripubblicata, tradotta e commentata; fu uno dei primissimi libri di Astronomia sempre ripubblicati; venticinque edizioni ne comparvero fra il 1472 e la fine del secolo, e più di quaranta dalla metà del XVII secolo.

68. Gli scrittori europei del medio-evo, che abbiamo fin qui ricordati, ad eccezione di Alfonso e dei suoi assistenti, si erano accontentati di raccogliere e di ricordare quelle parti della scienza astronomica dei Greci e degli Arabi, di cui essi poterono impadronirsi; qui non vi furono

serî tentativi per fare dei progressi, e non fu fatta nessuna osservazione d'importanza.

Una nuova scuola tuttavia sorse in Germania durante il XV secolo, che riuscì a dare alcuni contributi alla scienza, i quali, dal lato dell'importanza, non furon per sè stessi di prim'ordine, ma furono importanti per la maggiore indipendenza che cominciarono ad ispirare nel lavoro scientifico. *Giorgio Purbach*, nato nel 1423, fu nominato nel 1450 professore di Astronomia e di Matematica nell'Università di Vienna, che subito dopo la sua fondazione (1365) divenne un centro per questi studi. Qui egli incominciò un *Compendio di Astronomia*, fondato sull'*Almagesto*, ed anche una traduzione latina della teoria planetaria di Tolomeo, proposta particolarmente come supplemento al libro di testo di Sacrobosco, in cui era stata omessa questa parte del soggetto, ma specialmente anche come un trattato di primissimo ordine; però egli si trovò impacciato in entrambi gli assunti, a causa della cattiva qualità delle sole utili traduzioni dell'*Almagesto* — traduzioni latine che non erano state fatte direttamente dal greco, ma, in qualche modo, per il tramite dell'arabo, e come pure molto probabilmente dall'assiro — (cfr. § 56); e quindi erano ricolme di errori. Egli fu in questo lavoro assistito dal più rinomato allievo, Giovanni Müller di Königsberga (in Franconia); d'onde conosciuto col nome di *Regiomontano*, che fu attratto a Vienna all'età di 16 anni (1452) dalla rinomanza di Purbach. I due astronomi fecero parecchie osservazioni, e si convinsero della necessità di apportare delle riforme all'Astronomia per le varie inesattezze, che essi scoprirono nelle *Tavole Alfonsine*, già vecchie di due secoli; un eclisse della Luna, ad esempio, si verificava un'ora dopo, e Marte si vedeva a 2° dalla sua posizione calcolata. Purbach e Regiomontano furono invitati a Roma da uno di quei cardinali, a scopo di studiare ampiamente una copia dell'*Almagesto*, che si tro-

vava fra i manoscritti greci, i quali, dalla caduta di Costantinopoli (1453), erano pervenuti in Italia in gran numero; ed essi erano in procinto di partire, quando morì improvvisamente (1461) il più vecchio.

Regiomontano decisosi di recarsi a Roma nonostante la morte di Purbach, rimase in tutto sette anni in Italia; qui egli acquistò una buona conoscenza del greco, che aveva già cominciato a studiare a Vienna; e fu in questo modo capace di leggere l'*Almagesto* ed altri trattati nell'originale; egli compilò il *Compendio di Astronomia* di Purbach, fece alcune osservazioni, dettò delle lezioni, scrisse un trattato (1) di Matematica di gran pregio, e finalmente ritornò a Vienna nel 1468 con originali e copie di parecchi importanti manoscritti greci. Egli fu, per breve tempo, qui professore, ma poi accettò un invito dal re di Ungheria di ordinare una importante raccolta di manoscritti greci. Il re peraltro subito rivolse la sua attenzione dal greco alle cose guerresche; e Regiomontano partì di nuovo, stabilendosi questa volta a Norimberga, allora una fra le più floride città della Germania, la cui speciale attrazione consisteva in uno dei primi torchi da stampa, che vi era stato allora fondato. I cittadini di Norimberga ricevettero Regiomontano con grande onore, ed un ricco signore specialmente, *Bernardo Walther* (1430-1504), non solo lo fornì di danaro, ma, quantunque uomo più vecchio di lui, divenne suo allievo e vi lavorò insieme. Esperti artigiani di Norimberga erano impiegati nel fabbricare strumenti astronomici di una pre-

---

(1) Sulla Trigonometria. Egli introdusse di nuovo il *seno*, che era stato dimenticato, e fece qualche uso della *tangente;* ma, come Albategna (§ 59 n), non ne realizzò la sua importanza, e così rimase indietro a Ibn Yunos ed Abul Wafa. Un' importante contribuzione alla Matematica era costituita da una tavola di *seni*, calcolata per ogni minuto da 0° a 90°.

cisione fino allora non conosciuta in Europa, benchè, probabilmente, ancora inferiori a quelli di Nassir Eddin e Ulugh Begh (§§ 62, 63). Furono fatte parecchie osservazioni, fra le quali le più interessanti erano quelle della cometa del 1472, la prima cometa che sembra sia stata riguardata come argomento per uno studio scientifico, anzi che per il terrore superstizioso. Regiomontano riconobbe subito per il suo lavoro l'importanza della nuova invenzione della stampa; e trovando probabilmente che le stamperie esistenti non erano capaci di soddisfare le esigenze dell'Astronomia, fondò una stamperia sua propria. Qui pubblicò, nel 1472 o 1473, un' edizione del libro di Purbach sulla " Teoria planetaria, " che subito divenne popolare e fu spesso ristampato. Questo libro mise chiaramente in evidenza la discrepanza già esistente fra le vedute di Aristotile e quelle di Tolomeo. La veduta originale di Aristotile consisteva in questo: che il Sole, la Luna, i cinque pianeti e le stelle fisse erano attaccate rispettivamente ad otto sfere, l'una di fronte all'altra; e che quell'esterna, che conteneva le stelle fisse, con la sua rivoluzione era la causa principale del movimento diurno apparente di tutti i corpi celesti. La scoperta della precessione richiedeva, da parte di quelli che eseguivano la traduzione di Aristotile, l'aggiunta di un'altra sfera. Secondo questo sistema, che probabilmente era dovuto a qualcuno dei traduttori o commentatori di Bagdad (§ 56), le stelle fisse erano sopra una sfera, spesso chiamata il *firmamento;* ed a partire dal difuori, questa era la nona sfera, conosciuta col nome di *primum mobile,* che moveva tutte le altre; un'altra sfera fu aggiunta da Tabit ben Korra per ispiegare la trepidazione (§ 58), ed accettata da Alfonso e dalla sua scuola; un'undicesima sfera fu aggiunta verso la fine del medio-evo per ispiegare i supposti cambiamenti nella obliquità della eclittica. Pochi scrittori ne inventarono un numero più grande. Il pensiero medioevale ordinariamente pose l'empireo, od il

cielo, al difuori di queste sfere. Il disegno che qui riportiamo illustra l'intiero ordinamento:

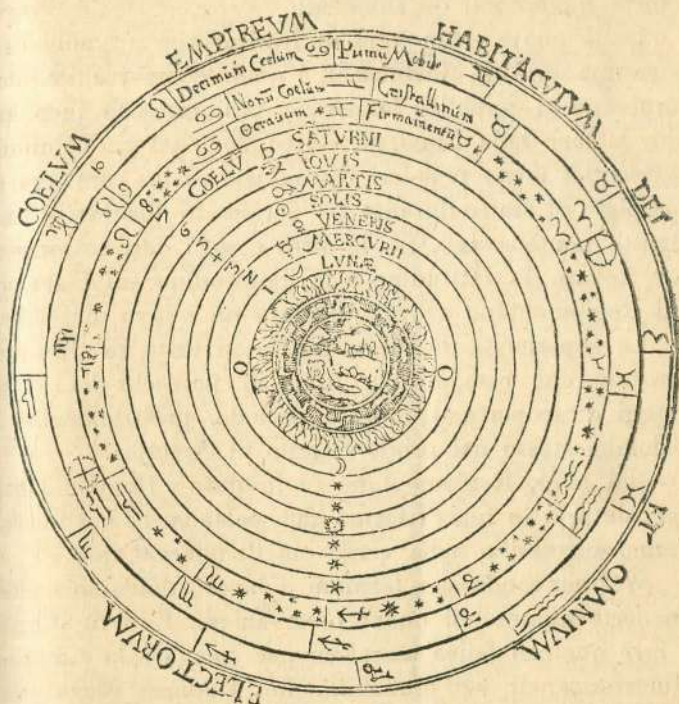



Fig. 36. — *Le sfere celesti.* (Dalla *Cosmografia* di Appiano).

Queste sfere, che erano quasi intieramente fantastiche ed in nessuna seria maniera anche ammesse per ispiegare i particolari dei movimenti celesti, sono naturalmente del tutto diverse dai cerchi noti come deferenti ed epicicli, che usavano Ipparco e Tolomeo. Questi erano semplici astrazioni geometriche, che mettevano in grado di rappresentare i moti planetari con sufficiente esattezza. Ciascun pianeta si muoveva liberamente nello spazio, essendo il suo movimento rappresentato o descritto (non verificato) da una speciale disposizione geometrica di cer-

chi. Purbach suggerì un aggiustamento per togliere le sfere cristalline di Aristotile, affinchè vi fosse posto per mettervi dentro gli epicicli di Tolomeo!

Dalla nuova stamperia di Norimberga fu pubblicata pure una serie di almanacchi, i quali, come quelli odierni, fornivano al pubblico le notizie utili circa le feste mobili, le fasi della Luna, gli eclissi, ecc.; ed un volume di *Effemeridi* meno popolari, con notizie di un carattere più completo ed esatto durante un periodo di quasi trent'anni. Queste contenevano, fra le altre cose, i dati astronomici per trovare la latitudine e la longitudine sul mare, per cui Regiomontano aveva inventato un nuovo metodo (1).

La superiorità di queste tavole su tutte le altre utili era tale, che esse furono usate in parecchi dei grandi viaggi di scoperta di questo periodo, probabilmente da Colombo stesso nel primo viaggio in America.

Nel 1475, Regiomontano fu invitato a Roma dal papa per aiutarlo in una riforma del calendario, ma vi morì l'anno successivo nella verde età di quarant'anni.

Walther condusse a termine il lavoro dell'amico e fece un certo numero di buone osservazioni. Egli fu il primo a fare qualche felice tentativo per spiegare la rifrazione atmosferica, di cui probabilmente Tolomeo aveva avuto qualche conoscenza (Cap. II, § 46); a lui si deve anche il metodo per ottenere la posizione del Sole, paragonandola a Venere invece che alla Luna (Cap. II, § 39), esprimendo con la maggiore esattezza possibile il movimento più ritardato del pianeta.

Dopo la morte di Walther, altri osservatori di minor merito continuarono il lavoro, ed una scuola astronomica di Norimberga di qualche specie continuò nel XVII secolo.

69. Poche scoperte minori in Astronomia appartengono

---

(1) Quello delle « distanze lunari ».

a questo o ad un periodo alquanto posteriore, e possono convenevolmente essere trattate qui.

Leonardo da Vinci (1452-1519) non solo fu gran pittore e scultore, ma fu anche anatomico, ingegnere, meccanico, fisico e matematico; egli fu il primo a spiegare esattamente l'illuminazione color cinereo, che vedesi nella parte oscura del disco lunare quando la parte risplendente, crescente o decrescente, è ben minore del mezzo disco. Egli osservò, che quando la Luna era quasi nuova, la metà della Terra, che veniva allora illuminata dal Sole, era rivolta quasi direttamente verso la Luna, e che la Luna veniva perciò illuminata leggermente da questo *splendore di Terra*, precisamente come noi lo siamo dal chiaro di Luna. La spiegazione è per sè stessa interessante, ed era anche di qualche valore, perchè mostrava un'analogia fra la Terra e la Luna, e tendeva ad abbattere la supposta barriera fra i corpi terrestri ed i corpi celesti (Cap. VI, § 119).

Girolamo Fracastoro (1483-1543) e *Pietro Appiano* (1495-1552), due fecondi scrittori di Astronomia, fecero osservazioni di qualche interesse sulle comete, notando entrambi che la coda di una cometa continuamente si allontanava dal Sole, mentre la cometa cambiava di posizione, collocandosi, all'incirca, nel prolungamento del raggio vettore; il qual fatto è stato studiato nei tempi moderni per gettare qualche luce sulla natura delle comete (Cap. XIII, § 304).

Pietro Nonio (1492-1577) merita di essere menzionato per la conoscenza che egli possedeva del crepuscolo; parecchi problemi, come la durata del crepuscolo, la sua variazione nelle diverse latitudini, ecc., furono esattamente risolti da lui; ma i suoi numerosi libri peraltro sono di nessun interesse (1).

---

(1) Egli non inventò l'istrumento di misura chiamato il «verniero», spesso attribuito a lui, ma qualche cosa affatto differente e di valore molto inferiore.

Una nuova determinazione della grandezza della Terra, la prima dall'epoca del califfo Al Mamun (§ 57), fu fatta verso il 1528 dal dottore francese *Giovanni Fernel* (1497-1558), che giunse ad un risultato, il cui errore (meno dell'1 per cento) era assai minore di quello, che potesse ragionevolmente attendersi dai metodi grossolani impiegati.

La vita di Regiomontano sorpassa quella di Copernico di tre anni; i quattro scrittori ora nominati furono quasi suoi contemporanei; e noi possiamo quindi dire di essere arrivati alla fine del periodo, relativamente stazionario, trattato in questo capitolo.

Maurolico (1). — Francesco Maurolico nacque in Messina il 16 settembre 1494 e vi morì il 21 luglio 1575; fu filosofo e matematico eruditissimo. Egli, per il primo, scoprì il seguente principio fondamentale della Gnomonica “ l'ombra dell' estremità di uno stilo descrive ogni giorno un arco di sezione conica; „ il quale fu il soggetto del 3° libro della sua gnomonica, intitolato “ *de Lineis horariis,* libri III „ (1553 e 1575). Nella sua opera “ la Cosmografia, „ egli tratta di Astronomia, esponendo brevemente e chiaramente il sistema tolemaico, la teoria e l'uso dei vari strumenti astronomici, il suo computo orario; ricorderemo ancora le osservazioni da lui fatte (1572) e un lavoro da lui pubblicato intorno alla comparsa di una nuova stella nella costellazione di Cassiopea. Però il merito principale del Maurolico è costituito dai suoi lavori matematici, riguardanti la ricostruzione e traduzione dei lavori di Euclide, di Apollonio e di Archimede. Ricorderemo di lui la introduzione nella trigonometria delle secanti, delle quali pubblicò una tavola nel volume intitolato *Theodisii sphæricorum,* libri III (1558). Nè bisogna dimenticare che l'analisi è debitrice al Maurolico del primo uso delle lettere in luogo dei numeri

(1) Aggiunta del traduttore.

nei calcoli aritmetici e delle prime regole dell'algoritmo dell'algebra; con ciò il Maurolico intese di elevare le operazioni numeriche alla stessa generalità ed astrazione delle operazioni grafiche della geometria.

Guarini (1). — Il Guarini è l'autore dell'opera astronomica "*Mathematica cœlestis*" (in-fol., Milano, 1683), citata da Lalande e da Weidler; da quest'ultimo con queste parole di elogio: "*A perspicuitate commendatur;*" e dell'altra "*Placita philosophica*" (in-fol., Parigi, 1666); in essa, fra le altre materie riguardanti la fisica, la logica e la metafisica, egli abbatte il sistema di Tolomeo e vi sostituisce certe linee spirali, su cui fa muovere i pianeti; inoltre emise anche una opinione straordinaria sulle maree e su altri fenomeni. Ricorderemo del Guarini l'importante opera *Euclides adauctus et methodicus, mathematique universalis* (in-fol., oltre 700 pagine, Torino, 1671); essa contiene 35 trattati su diverse parti della geometria teorica ed applicata; la trentaduesima si può riguardare come un capitolo della odierna geometria descrittiva, in cui si tratta della proiezione su piani, delle lineè intersezioni della sfera, del cono e del cilindro fra loro, e dello sviluppo su un piano di queste curve a doppia curvatura.

---

(1) Aggiunta del Traduttore.

CAPITOLO IV.

Copernico.

> Ma in questa nostra età, un peregrino genio (vedendo i continui errori, che di tanto in tanto e sempre più si vanno scoprendo fra le infinite assurdità delle loro teorie e che sono stati costretti di ammettere, teorie che non riconoscevano nessuna mobilità nel globo della Terra) aveva col lungo studio, con il gravoso esercizio, e con la rara invenzione presentata una nuova teoria o sistema del mondo, mostrando che la Terra non istà nel centro del mondo intiero o globo degli elementi, che circonda e comprende l'orbita della Luna, ed insieme con l'intiero globo della natura umana è condotto annualmente intorno al Sole, il quale, al pari di un Re in mezzo a tutti, dardeggia e detta le leggi del moto a tutto il resto, sfericamente spargendo i suoi gloriosi raggi di luce in tutto questo sacro tempio celeste.
>
> Tommaso Digges, 1590.

70. Il crescente interessamento per l'Astronomia, mostrato dall'opera di tali uomini, come Regiomontano, era uno dei primi risultati, nel campo della scienza, del gran movimento del pensiero sotto diversi aspetti, a cui sono dati i nomi di Rinnovamento scientifico, di Rinascimento, e di Riforma. Il movimento si può riguardare, in primo luogo, come un generale risveglio della intelligenza e dell'interessamento rispetto al pensiero ed alla scienza. L'invenzione della stampa in sul principio del xv secolo, lo stimolo allo studio degli autori greci, dovuto in parte ai dotti, che si erano spinti verso l'Occidente, dopo la caduta

di Costantinopoli in mano dei Turchi (1453), e la scoperta dell'America fatta nel 1492 da Colombo, tutto favorì tal movimento, il cui inizio è manifesto assai prima. Ogni stimolo all'ingegno umano naturalmente porta seco una tendenza verso la ricerca intorno alle opinioni ricevute attraverso la tradizione e fondate su qualche grande autorità. La vera scoperta e lo studio dei filosofi greci, oltre Aristotile, naturalmente scosse molto la suprema autorità di quel gran filosofo, precisamente come i seguaci della Riforma scossero l'autorità della Chiesa con l'indicare ciò che essi consideravano quali incoerenze fra le sue dottrine e quelle della Bibbia. Dapprima vi fu una piccola aperta opposizione al principio che la verità fosse stata attinta da qualche autorità, piuttosto che ricercata indipendentemente dalla luce della ragione; i nuovi scienziati sostituivano all'autorità di Aristotile quella di Platone o dell'antichità in generale greca o romana, ed i Riformatori religiosi sostituirono alla Chiesa la Bibbia. Naturalmente, per altro, il contrasto fra le autorità produceva in alcune menti lo scetticismo contro il principio di autorità stessa; quando la libertà di giudizio venne esercitata ampiamente da decidere fra le autorità, fu allora fatto un passo innanzi, passo, è vero, che, comparativamente, ebbe poca importanza rispetto all'uso del giudizio individuale sul soggetto stesso in discussione.

In Astronomia il contrasto fra le autorità era già nato, in parte per certe divergenze fra Tolomeo ed Aristotile, ed in parte per diverse tavole astronomiche che, quantunque sostanzialmente compilate sulle stesse linee, differivano nei punti minori. Il tempo era perciò maturo per qualche critica fondamentale dell'Astronomia tradizionale, e per la sua ricostruzione sopra una nuova base.

Un tale cambiamento fondamentale fu divisato e condotto ad effetto da un grande astronomo, la cui opera ora prenderemo in esame.

71. *Nicola Copernico* o *Coppernicus* (1) nacque il 19 febbraio 1473, in una casa tuttora additata nella piccola città commerciale di Thorn sulla Vistola. Thorn ora si trova precisamente entro il confine orientale del presente regno di Prussia; all'epoca di Copernico si trovava in una regione, sulla quale il re di Polonia aveva una specie di alta signoria, l'esatta natura della quale era perenne argomento di continua questione fra lui, i cittadini e il comando dei cavalieri tedeschi, i quali reclamavano un buon trattamento dal paese vicino. Il padre di Copernico (il cui nome era comunemente scritto Koppernigk) era un mercante, che da Cracovia, allora capitale della Polonia, andò a Thorn nel 1462. Se Copernico debba considerarsi come polacco o come germanico è una questione intricata, sulla quale i suoi biografi hanno combattuto lungamente e con qualche acrimonia; ma essa non merita di essere qui ulteriormente discussa.

Nicola, dopo la morte del padre, nel 1483, fu sotto la tutela dello zio, Luca Watzelrode, indi vescovo della vicina diocesi di Erland; e fu destinato da lui, assai di buon'ora, alla carriera ecclesiastica. Egli frequentò la scuola a Thorn; ed all'età di 17 anni entrò nella Università di Cracovia. Qui sembra abbia prima acquistato (o mostrato) una decisa inclinazione per l'Astronomia e le Matematiche, scienze, nelle quali egli probabilmente ricevè l'aiuto da Alberto Brudzewski, che aveva grande fama come dotto e valente professore. Gli elenchi delle lezioni della Università mostrano che i trattati di Purbach e Regiomontano, relativamente

(1) Il nome è scritto in molti modi diversi, tanto da Copernico, quanto dai suoi contemporanei. Egli stesso ordinariamente scriveva il nome di Copernico, e nei lavori di erudizione comunemente usava la forma latina *Coppernicus*. L'ortografia *Copernicus* è tanto meno usata ordinariamente da lui, che io ho per ciò pensato di respingerla, anche a costo di sembrare pedante.

moderni (Cap. III, § 68), erano i libri di testo classici usati. Copernico non aveva nessuna intenzione di laurearsi a Cracovia, e probabilmente la lasciò dopo tre anni (1494). Durante l'anno successivo, o due, egli visse, in parte a casa sua, in parte nel palazzo dello zio ad Heilsberg, e dedicò un po' di tempo in un' infelice candidatura ad un canonicato a Frauenburg, città cattedrale della diocesi dello zio.

I successivi nove o dieci anni della sua vita (dal 1496 al 1505 o 1506) li dedicò agli studi in Italia; il qual soggiorno fu interrotto solo da una breve visita a Frauenburg nel 1501. Egli lavorò principalmente a Bologna ed a Padova, ma si laureò a Ferrara e passò anche qualche tempo a Roma, ove le sue cognizioni astronomiche evidentemente fecero una favorevole impressione. Quantunque si supponesse che egli fosse venuto in Italia principalmente a scopo di studiare legge e medicina, tuttavia è evidente che molto del suo miglior lavoro riguardò allora la Matematica e l'Astronomia, mentre egli pose pure abbastanza attenzione allo studio del greco.

Durante la sua assenza, egli fu nominato (circa il 1497) ad un canonicato a Frauenburg, e, in un'epoca alquanto incerta, ricevè pure la nomina ad una sinecura ecclesiastica a Breslavia.

72. Ritornando a Frauenburg dall'Italia, Copernico quasi subito ottenne di nuovo il permesso di assentarsi, e raggiunse lo zio a Heilsberg, in apparenza come consulente medico, ma realmente come suo compagno.

Fu, probabilmente, durante i tranquilli anni passati ad Heilsberg che egli, per la prima volta, maturò le sue prime idee riguardanti l'Astronomia, e scrisse il primo abbozzo del suo libro. Egli tenne presso di sè il manoscritto per parecchio tempo, rivedendolo e riscrivendolo di tanto in tanto, in parte pel desiderio di fare la sua opera più perfetta che fosse possibile, in parte per la completa indifferenza per

la fama, congiunta all'avversione per le controversie, che la pubblicazione del suo libro quasi certamente avrebbe fatte sorgere. Nel 1509, egli pubblicò a Cracovia il suo primo libro, una traduzione latina di una serie di lettere greche di Teofilacto, che era interessante, come probabilmente la prima traduzione dal greco, mai pubblicata in Polonia o nei paesi vicini. Nel 1512, alla morte dello zio, egli finalmente si stabilì a Frauenburg in una serie di stanze, che egli occupò, per brevi intervalli, nei successivi trent'anni. Installatosi per bene in residenza, si assunse l'incarico di dirigere gli affari del Capitolo: egli agì, per esempio, più di una volta come loro rappresentante in varie questioni col re di Polonia e coi cavalieri tedeschi; nell'anno 1523 fu amministratore generale della diocesi per alcuni mesi dopo la morte del vescovo; e per due periodi, della durata di sei anni (1516-1519 e 1520-1521), egli visse nel castello di Allenstein, amministrando qualcuna delle proprietà lontane dal Capitolo. Nel 1521 fu incaricato di stendere una relazione sui gravami del Capitolo verso i cavalieri tedeschi per presentarla agli Stati di Prussia; e nell'anno seguente scrisse un *memorandum* sulle condizioni umilianti ed intricate del monetaggio nel distretto, memoria che era stata anche prima presentata agli Stati; e fu poi riscritta in latino, dietro richiesta speciale del vescovo. Egli diede pure un certo numero di consulti medici ai suoi amici, come pure ai poveri di Frauenburg, quantunque egli non esercitasse regolarmente la professione di medico; ma, nonostante queste diverse occupazioni, è probabile che grandissima parte del suo tempo, durante gli ultimi trent'anni di sua vita, egli lo dedicasse all'Astronomia.

73. Noi siamo così abituati ad associare il Rinascimento dell'Astronomia, come le altre branche delle scienze naturali, alla aumentata cura nel raccogliere i fatti osservati, e considerare Copernico come il fattore principale di que-

sto risveglio, che vale la pena di mettere qui in evidenza il fatto che egli non fu in alcun modo un grande osservatore. I suoi strumenti, che erano generalmente di sua propria costruzione, erano molto inferiori a quelli di Nassir Eddin e di Ulugh Begh (Cap. III, §§ 62, 63), e nemmeno buoni come quelli, che egli poteva procurarsi, se l'avesse desiderato, dai commercianti di Norimberga; le sue osservazioni non furono niente affatto numerose (delle ventisette che sole si trovano indicate nel suo libro una dozzina o due ci sono note in dettaglio) e sembra che egli non abbia fatto alcun serio tentativo per assicurarsi una grande esattezza. La sua determinazione della posizione di una stella, che era largamente usata da lui come punto di riferimento, e perciò di speciale importanza, era sbagliata per 40′ (maggiore dell'apparente diametro del Sole e della Luna), errore che Ipparco avrebbe considerato gravissimo. Il suo allievo Rheticus (§ 74) riferisce un'interessante discussione fra il suo maestro e lui stesso, in cui l'allievo metteva in rilievo l'importanza di fare le osservazioni con tutta l'esattezza immaginabile; Copernico rispondeva che l'esattezza minuziosa non doveva richiedersi in quell'epoca, e che il grossolano accordo fra la teoria e l'osservazione era tutto ciò che si potesse sperare di meglio. Copernico, inoltre, osserva in più luoghi che l'elevata latitudine di Frauenburg e la densità dell'aria erano così male adatte che, per esempio, quantunque egli avesse, per caso, avuto modo di vedere il pianeta Mercurio, tuttavia non era mai stato capace di propriamente osservarlo.

Quantunque egli non pubblicasse nulla d'importante fin verso la fine della sua vita, tuttavia la sua fama di astronomo e di matematico sembra che si fosse fatta strada fra i dotti dall'epoca del suo soggiorno in Italia, e fosse di molto aumentata con l'andare del tempo.

Nel 1515 egli fu consultato da una Commissione, nominata dal Concilio laterano, per studiare la riforma del

Calendario, che era allora caduto in qualche confusione (Cap. II, § 22); ma egli rifiutò di dare qualsiasi notizia sul perchè i movimenti del Sole e della Luna erano ancora così troppo imperfettamente conosciuti per addivenire ad una soddisfacente riforma. Alcuni anni dopo (1524) egli scrisse una lettera aperta, destinata alla pubblicazione, ad uno dei suoi amici di Cracovia in risposta ad un opuscoletto sulla precessione, in cui, secondo l'uso del tempo, egli adoperò un vigoroso linguaggio contro gli errori del suo protagonista (1).

Frattanto adagio adagio si era diffusa la notizia che egli sosteneva la nuova teoria che la Terra era in moto ed il Sole e le stelle erano immobili, dottrina che fu abbastanza sorprendente da richiamare l'attenzione anche al di fuori delle società astronomiche. Verso il 1531 ebbe la fortuna di essere messo in ridicolo sul teatro in qualche rappresentazione popolare dei paesi vicini; ed è interessante notare (specialmente rispetto alla famosa persecuzione di Galilei a Roma un secolo dopo) che Lutero, nelle sue *Conversazioni famigliari,* francamente descrisse Copernico come matto da sostenere tali opinioni, che erano evidentemente contrarie alla Bibbia, e che Melanchthon, forse il più dotto dei Riformatori, aggiunse, quasi come critica, chiaramente che tali opinioni non sarebbero tollerate. Copernico pare non abbia avuta alcuna notizia di questi e di attacchi consimili, e seguitò ancora a non pubblicare nulla. Nessuna osservazione, fatta dopo il 1529, si trova nel suo gran libro, il quale sembra sia rimasto quasi nella sua ultima forma da quell'epoca; e circa a quest'epoca appartiene una sua Memoria assai interessante, conosciuta sotto il nome di *Commentariolus*, che contiene un breve sommario del suo si-

(1) *Nullo demum loco ineptior est quam... ubi nimis pueriliter hallucinatur.* « In nessun luogo egli è più stolto che... ove egli subisce delle delusioni di un carattere troppo fanciullesco ».

stema del mondo, unitamente a qualche dimostrazione di esso, ma senza alcun calcolo. Essa fu evidentemente scritta per essere mostrata od imprestata agli amici, e non fu pubblicata. Il manoscritto scomparve dopo la morte dell'autore e fu solo riscoperto nel 1878. Il *Commentariolus* fu probabilmente la base di una lezione sulle idee di Copernico, data nel 1533 da uno degli astronomi romani dietro richiesta del papa Clemente VII. Tre anni dopo il cardinale Schomberg scrisse a Copernico una lettera per domandargli ulteriori informazioni sulle sue vedute, dalla quale si vedeva che le linee principali erano già esattamente ben note.

74. Simili domande dovevano essere state fatte da altri; ma la sua definitiva decisione di pubblicare le sue idee sembra doversi attribuire all'arrivo a Frauenburg dell'entusiastico giovane astronomo, comunemente noto col nome di *Rheticus* (1). Nacque nel 1514, studiò Astronomia sotto Schoner a Norimberga, e fu nominato nel 1536 ad una delle cattedre di matematica, create dall'influenza di Melanchthon a Wittenberg, a quel tempo principale Università protestante.

Avendo avuto notizia, probabilmente mediante il *Commentariolus*, di Copernico e delle sue dottrine, si interessò tanto di esse, che decise di visitare il grande astronomo a Frauenburg. Copernico lo ricevè con estrema gentilezza; e la visita, che doveva durare, come era stato stabilito precedentemente, tutt'al più alcuni giorni o settimane, fu protratta quasi due anni. Rheticus si mise a lavorare per istudiare il manoscritto di Copernico, e scrisse, in poche settimane dal suo arrivo, un'assai interessante e pregevole relazione del suo lavoro, noto col nome di *Prima narra-*

(1) Il suo vero nome era Giorgio Joachim, quello onde è noto, essendo stato formato da lui stesso dal nome latino del distretto, ove era nato (*Rhaetia*).

zione (*Prima narratio*), scritta in forma di lettera aperta al suo antico maestro Schoner, lettera che fu pubblicata nella successiva primavera, e fu il primo e facilmente accessibile ragguaglio sulle nuove dottrine (1).

Quando Rheticus ritornò a Wittenberg, verso la fine del 1541, egli portò seco una copia di una sezione puramente matematica del gran libro, e l'aveva pubblicata con un libro di testo del soggetto (*Trigonometria*); probabilmente era già stato stabilito che egli dovesse sorvegliare la pubblicazione dell'intero libro stesso. Copernico, che ora era vecchio e naturalmente sentiva che la sua fine era prossima, inviò il manoscritto al suo amico Giese, vescovo di Kulm, affinchè ne facesse quello che gli fosse piaciuto. Giese lo mandò subito a Rheticus, che lo ordinò per poterlo pubblicare a Norimberga. Disgraziatamente Rheticus non fu capace di vederlo intieramente pubblicato, allorchè l'opera fu depositata nelle mani di Osiander, predicatore luterano, che si occupava di Astronomia. Osiander sembra sia stato molto allarmato, pensando allo sconvolgimento che le eretiche idee di Copernico avrebbero prodotto, ed aggiunse del suo una nota di prefazione (che egli omise di firmare), commentando il libro in modo volgare, e dichiarando (ciò che era del tutto contrario alle vedute dell'autore) che i principî fondamentali, su cui esso si basava, erano semplici astratte ipotesi, acconce a scopi di calcolo; egli anche diede al libro il titolo *De revolutionibus Orbium cœlestium.* (*Sulle rivoluzioni delle Sfere celesti*), di cui le ultime due parole furono probabilmente una sua propria aggiunta. La pubblicazione fu terminata nell'inverno 1542-43, e l'autore ricevè una copia del suo libro nel dì della sua

(1) Il *Commentariolus* e il *Prima narratio* dànno alla maggior parte dei lettori una migliore idea di quella che Copernico non diede nel suo gran libro, in cui in confronto è difficile di districare le sue principali idee dalla massa dei calcoli fondati su esse.

morte (24 maggio 1543), quando la sua memoria ed il suo vigore intellettuale erano già spenti.

75. L'idea principale, a cui è associato il nome di Copernico, e che fece del " *De revolutionibus* „ uno dei più importanti libri nell'intiera letteratura astronomica, accanto al quale forse solo l'*Almagesto* ed i *Principia* di Newton possono essere collocati (Cap. IX, § 177 e seg.), è che i movimenti apparenti dei corpi celesti non sono generalmente moti reali, ma sono dovuti al movimento della Terra, la quale trascina seco l'osservatore. Copernico dice che egli era stato lungamente colpito dalla natura non soddisfacente delle spiegazioni ordinarie delle osservazioni astronomiche e che, mentre andava cercando negli scritti filosofici qualche migliore spiegazione, egli aveva trovato una allusione di Cicerone rispetto all'opinione di Hicetas, che la Terra ruotasse giornalmente intorno al proprio asse. Egli trovò che simili vedute erano state prese in considerazione da altri Pitagorici, mentre Filolao ed Aristarco da Samo avevano anche ritenuto che la Terra non solo ruotasse, ma che si muovesse materialmente intorno al Sole od a qualche altro centro (cfr. Cap. II, § 24). L'opinione che la Terra non sia il solo centro di movimento, ma che Venere e Mercurio ruotino intorno al Sole, si trovò che era una vecchia credenza egiziana, sostenuta anche da *Marziano Capella,* che scrisse un compendio di scienza e filosofia nel v o vi secolo d. C. Un'autorità più moderna, *Nicola da Cusa* (1401-1464), scrittore mistico che alludè ad un possibile movimento della Terra, fu ignorata o non tenuta in conto da Copernico. Nessuno degli scrittori qui nominati, fatta probabilmente eccezione di Aristarco da Samo, a cui Copernico in verità prestò poca attenzione, non presentò le opinioni citate che come vaghe speculazioni; nessuno di essi diede alcuna reale spiegazione, molto meno la dimostrazione delle loro vedute; e Copernico, benchè poteva essere stato contento, secondo l'andazzo dei tempi,

di avere l'appoggio delle autorità, aveva praticamente da fare un nuovo passo in avanti, quello cioè di dare la dimostrazione delle sue opinioni.

Qualche volta si è asserito che Copernico *dimostrasse* ciò che i primi scrittori avevano indovinato o suggerito; sarà forse più esatto il dire che s'impadronì di certe idee vaghe e che non erano mai state condotte a termine scientificamente; e che si basò su esse certi determinati principî fondamentali, e da questi principî sviluppò matematicamente un sistema astronomico, che egli dimostrò che era, per lo meno, atto a spiegare i moti celesti, osservati come nel tradizionale sistema Tolemaico. Il sistema Copernicano, come uscì dalle mani dell'autore, era infatti certissimamente superiore a tutti gli altri consimili, come spiegazione delle osservazioni ordinarie; vantaggio dovuto intieramente tanto all'abilità matematica, con cui veniva svolto, quanto ai suoi primi principî. Esso era, sotto molti aspetti, assai più semplice; ed evitava certe difficoltà fondamentali dell'antico sistema. Tuttavia era esposto a certe serie obbiezioni, che furono solo rimosse da una nuova prova, che fu messa poi in luce. Per i predecessori di Copernico esisteva, a parte le variazioni di minore importanza, solamente un sistema scientifico, il quale faceva ogni serio tentativo per ispiegare i fatti noti; per i suoi immediati successori ve ne furono due; ad uno spirito imparziale, certamente il sistema Copernicano sembrar doveva già a primo aspetto più soddisfacente, ma occorreva uno studio ulteriore dei due sistemi col proposito di scoprire nuovi argomenti e di eseguire nuove osservazioni, atte a decidere definitivamente fra l'uno o l'altro.

76. Il piano del *De revolutionibus* ha una rassomiglianza generale con quello dell'*Almagesto*. Nella forma, per lo meno, il libro non è principalmente un argomento in favore del movimento della Terra, e si può leggere gran

parte di esso senza mai notare qualsiasi allusione a questa dottrina.

Copernico, come Tolomeo, incomincia con certi principî primordiali o postulati; ma, a cagione della loro novità, essi lo preoccuparono più del suo predecessore (Cfr. Capitolo II, § 47), per farli subito apparire possibili. Con questi postulati come base, egli procede a svolgere, mediante un ragionamento matematico accurato e piuttosto tedioso, aiutato qua e là dai richiami alle osservazioni, particolareggiate rappresentazioni dei diversi movimenti celesti; ed è dall'accordo di questi calcoli con le osservazioni, molto più che dal ragionamento generale fatto da principio, che sono infatti giustificati i diversi postulati.

Il suo primo postulato, che l'universo è sferico, viene sostenuto con ragioni vaghe ed inconcludenti, simili a quelle addotte da Tolomeo e da altri; per la forma sferica della Terra egli presenta parecchi dei validi argomenti ordinari; ed una delle sue dimostrazioni della sua curvatura da oriente ad occidente consiste nel fatto che gli eclissi visibili in un luogo non lo sono in un altro.

Un terzo postulato, che il movimento dei corpi celesti sono moti circolari uniformi o sono composti di tali moti, è, come potevasi aspettare, sostenuto solo con le ragioni di un carattere del tutto non soddisfacente. Egli inferisce, per esempio, che qualunque mancanza di uniformità nel movimento deve " provenire o dalla irregolarità della forza che produce il moto, sia che questa si trovi dentro il corpo o fuori di esso, o da qualche disuguaglianza del corpo in rivoluzione... Davanti ad entrambe queste cose, l'intelletto indietreggia con orrore, essendo indegno il sostenere una tale veduta intorno ai corpi, che sono costituiti nell'ordine più perfetto. "

77. Viene poi la discussione della possibilità che la Terra si possa muovere, e che possa possedere anche più di un movimento; questa discussione è più soddisfacente, quan-

tunque non sia fatta con alcun mezzo concludente. Copernico si appiglia saldamente al principio, che Aristotile pure aveva enunciato, talvolta conosciuto come quello del moto relativo, e che egli espone presso a poco così:

“ Ogni cambiamento di posizione, che si vede, è dovuto ad un movimento o dell'osservatore o della cosa guardata, od ai cambiamenti della posizione di entrambi, purchè questi siano differenti. Poichè quando le cose si muovono del pari relativamente alle stesse cose, non si osserva alcun movimento, come fra l'oggetto veduto e l'osservatore ” (1).

Copernico non diede alcuna dimostrazione di questo

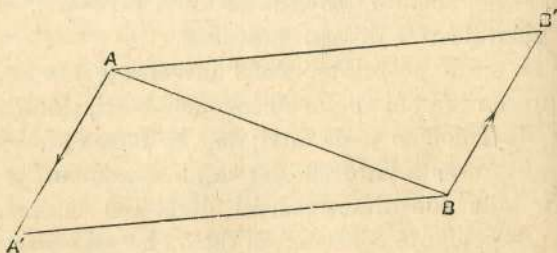



Fig. 37. — *Moto relativo.*

principio, che egli riguardava, una volta stabilito, probabilmente come abbastanza chiaro ai matematici ed agli astronomi, pei quali era stato scritto. Esso è, per altro, così fondamentale, che può valer la pena di discuterlo un po' più a fondo.

Per esempio, abbiasi un osservatore in A e un oggetto

---

(1) *Omnis enim quae videtur secundum locum mutatio, aut est propter locum mutatio, aut est propter spectatae rei motum, aut videntis, aut certe disparem utriusque mutationem. Nam inter mota aequaliter ad eadem non percipitur motus, inter rem visam dico, et videntem* (*De Rev.*, I, v.).

Io ho tentato di rimuovere qualcuna delle asprezze del passo originale con una traduzione libera.

in B; indi se l'oggetto si muove da B in B', rimanendo fermo l'*osservatore*, o l'osservatore si muove per un'*eguale* distanza nella direzione *opposta*, da A ad A', rimanendo fermo l'*oggetto*, l'effetto dell'occhio è precisamente lo stesso, poichè nell'uno o nell'altro caso sono le stesse, la distanza fra l'osservatore e l'oggetto e la direzione, in cui l'oggetto si vede, rappresentata nel primo caso da AB' e nel secondo da $A'B$.

Così se nel corso di un anno *o* il Sole passa successivamente per le posizioni A, B, C, D (fig. 38), rimanendo ferma la

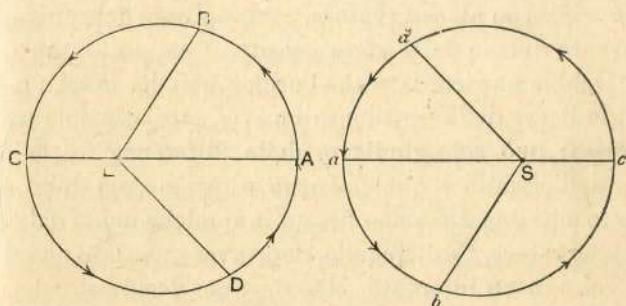



Fig. 38. — *Il moto relativo del Sole e della Terra.*

Terra in E; *o* se il Sole è fermo e la Terra passa successivamente per le posizioni a, b, c, d, nei tempi corrispondenti, rimanendo fermo il Sole in s, si produce esattamente lo stesso effetto all'occhio, purchè le linee as, bs, cs, ds siano, come nella figura, eguali in lunghezza e parallele in direzione ad ET, EB, EC, ED rispettivamente. Lo stesso avviene nei punti intermedi, lo stesso effetto apparente è esattamente prodotto se il Sole descrive il cerchio $ABCD$, o la Terra descrive nello stesso modo il cerhio eguale $abcd$. Si osserverà inoltre che quantunque i moti corrispondenti nei due casi siano, negli stessi tempi, in direzioni *opposte* (come in A ed a), tuttavia ciascun cerchio è descritto come un tutto, come è indicato dalle frecce, nella *stessa* direzione (contraria a

quella del moto della lancetta di un orologio) nella figura data. Ne segue analogamente che un movimento apparente (come quello di un pianeta) si può spiegare in parte come dovuto al moto dell'oggetto, in parte a quello dell'osservatore.

Copernico porta l'esempio comune del passeggero in un battello, che vede la Terra apparentemente allontanarsi da lui come essa si muovesse, citando e spiegando il verso di Virgilio:

" *Provehimur portu, terraeque urbesque recedunt* ".

78. L'applicazione delle stesse idee ad una rotazione apparente intorno all'osservatore, come nel caso del movimento apparente diurno della sfera celeste, è alquanto più difficile. Dobbiamo ricordare che l'occhio non ha nessun mezzo per giudicare della direzione di un oggetto, considerata per sè stessa; può solo giudicare della differenza fra la direzione dell'oggetto e qualche altra direzione, sia di un altro oggetto o di una direzione fissata in qualche modo dal corpo dell'osservatore. Così, quando, dopo aver guardato una stella due volte in un intervallo di tempo, noi decidiamo che essa si è mossa, ciò significa che la sua direzione è cambiata relativamente, per esempio, a qualche albero o casa, che noi abbiamo osservato vicino alla sua direzione, o che la sua direzione è cambiata relativamente alla direzione, in cui dirigiamo i nostri occhi od abbiamo i nostri corpi. Un tal cambiamento può evidentemente essere interpretato come un cambiamento della direzione, o della stella o della retta dall'occhio all'albero, che noi adoperiamo come linea di riferimento. Per applicare questo al caso della sfera celeste, supponiamo che s rappresenti una stella sulla sfera celeste che (per semplicità) sia allo zenit di un osservatore sulla Terra in A, e ciò si determina mediante il confronto con una retta AB, condotta verticalmente alla Terra. Poi, la Terra e la sfera celeste, ponendo abbiano lo stesso centro in o, supponiamo *primieramente* che la sfera celeste ruoti (nella

direzione delle lancette di un orologio) finchè s venga in s', e che l'osservatore ora veda la stella sull'orizzonte od in una direzione perpendicolare alla direzione primitiva AB, l'angolo della rotazione della sfera celeste essendo sos'; in *secondo luogo* che, la sfera celeste essendo inalterata, la Terra ruoti nella direzione opposta, finchè AB venga in $A'B'$, e la stessa si veda di nuovo dall'osservatore sul suo orizzonte. Qualunque di questi movimenti abbia luogo, l'osservatore vede appunto lo stesso movimento apparente nel cielo; e la figura mostra subito che l'angolo sos', di cui si supponeva ruotasse la sfera celeste nel *primo* caso, è eguale all'angolo AoA', pel quale la Terra ruota nel *secondo* caso; ma le due rotazioni sono in direzioni opposte. Una spiegazione analoga evidentemente si applica a casi più complicati.

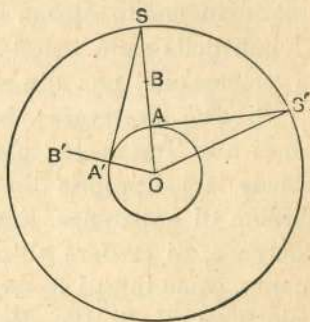



Fig. 39. — *La rotazione giornaliera della Terra.*

Quindi l'apparente rotazione diurna della sfera celeste attorno ad un asse, passante per i poli, sarebbe egualmente prodotta tanto da una reale rotazione di questa specie, quanto da una rotazione della Terra attorno ad un asse pure passante per i poli, e con la stessa velocità, ma in direzione opposta, cioè da occidente verso oriente. Questo è il primo movimento che Copernico assegna alla Terra.

79. L'apparente movimento annuale del Sole, secondo il quale sembra che la Terra si muova in un'orbita che è quasi un cerchio, si può agevolmente spiegare bene, se si suppone il Sole sia fisso, e la Terra descriva un'orbita esattamente uguale intorno al Sole, essendo identica la direzione della rivoluzione. Questo è virtualmente il secondo movimento, che Copernico attribuisce alla Terra, quantunque, a cagione di una singolarità nel suo metodo geome-

trico, egli scomponga questo movimento in due altri, e combini con uno di questi un nuovo piccolo movimento, che richiedesi per la precessione (1).

80. La concezione di Copernico, perciò, è che la Terra ruoti intorno al Sole nel piano della eclittica, mentre ruota quotidianamente attorno all'asse, che continuamente è volto ai poli della sfera celeste, e perciò conserva (eccetto per la precessione) una direzione fissa nello spazio.

Si può osservare che i due movimenti così assegnati alla Terra sono perfettamente distinti; ciascuno richiede la sua propria dimostrazione, e spiega una serie differente di apparenze. Era del tutto possibile, con perfetta coerenza, di credere all'uno senza credere all'altro movimento, come infatti fecero pochissimi astronomi del xvi secolo (Cap. V, § 105). Nell'addurre le ragioni per dimostrare l'esistenza del movimento della Terra, Copernico discute le principali obbiezioni, che erano state provocate da Tolomeo. All'obbiezione che se la Terra avesse un rapido movimento di rotazione attorno al suo asse, essa sarebbe in pericolo di saltare in pezzi, e l'aria e così pure gli oggetti liberi sulla superficie sarebbero lasciati indietro, egli replica che se un tal movimento fosse pericoloso alla Terra solida, deve esserlo molto più per la sfera celeste, che, a causa della sua grandezza ben maggiore, dovrebbe muoversi molto più velocemente della Terra per compire la sua rotazione diurna. Egli entra pure in una oscura discus-

(1) Per Copernico, come per molti dei suoi contemporanei, così pe' Greci, la forma più semplice di una rivoluzione di un corpo attorno ad un altro era un movimento, che il corpo ruotante aveva come fosse rigidamente attaccato al corpo centrale. Così, nel caso della Terra, il secondo movimento era tale, che l'asse della Terra rimaneva inclinato di un angolo costante sulla retta congiungente la Terra ed il Sole, e perciò cambiava la sua direzione nello spazio. Quindi, per fare che l'asse conservi (quasi) una direzione fissa nello spazio, era necessario di aggiungere un *terzo* movimento.

sione sulla differenza fra un moto *naturale* ed un moto *artificiale;* e non si può ammettere che il primo di essi non porti nessuno sconvolgimento sulla Terra. Copernico mostra che la Terra è assai piccola in confronto della sfera delle stelle, perchè ovunque si trovi l'osservatore sulla Terra, l'orizzonte sembra divida la sfera celeste in due parti eguali, e l'osservatore sembra sia sempre nel centro della sfera, così che qualunque distanza, attraverso la quale si muove l'osservatore sulla Terra, è impercettibile, se viene confrontata alla distanza delle stelle.

81. Egli viene all'argomento che la principale irregolarità nel movimento dei pianeti, in virtù della quale essi retrocedono ad intervalli (Cap. I, § 14, e Cap. II, § 51), si può subito spiegare in generale col movimento della Terra e con un movimento di ciascun pianeta intorno al Sole, nel suo proprio tempo e nella sua propria distanza. Dal fatto, che Venere e Mercurio non furono mai veduti assai lontani dal Sole, si poteva inferire che le loro orbite erano più vicine al Sole che quella della Terra, Mercurio essendo dei due il più vicino al Sole, perchè non fu mai visto nel cielo così lontano da esso come Venere. Gli altri tre pianeti, vedendosi talora in una direzione opposta a quella del Sole, debbono necessariamente ruotare intorno al Sole in orbite maggiori di quella della Terra, ipotesi confermata dal fatto, che essi erano più risplendenti, quando erano opposti al Sole (nelle cui posizioni essi sarebbero più vicini a noi). L'ordine delle loro distanze rispettive dal Sole si poteva subito dedurre dagli effetti disturbatori prodotti nei loro movimenti apparenti dal movimento della Terra; essendo Saturno meno disturbato, doveva in conclusione essere più lontano dalla Terra, Giove più vicino e quindi Marte. La Terra così divenne uno dei sei pianeti che ruotavano intorno al Sole, e l'ordine di distanza — Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno — era anche in accordo con le velocità del movimento intorno al Sole; Mer-

curio compieva la sua rivoluzione più rapidamente (in circa 88 giorni) (1), Saturno più lentamente (in circa 30 anni). Nel sistema Copernicano la Luna sola girava pure intorno alla Terra, essendo il solo corpo celeste la cui posizione fosse sostanzialmente invariata; e così Copernico fu capace di dare il disegno qua presentato del sistema solare (fig. 40),

Fig. 40. — *Il sistema solare secondo Copernico.*

il quale rappresenta la sua ipotesi della disposizione generale di esso (benchè non nelle giuste proporzioni delle diverse parti) e dei diversi movimenti.

(1) In questa discussione preliminare, come nella fig. 40, Copernico dà 80 giorni; ma in una più particolareggiata trattazione, data nel lib. V, egli corregge questa in 88 giorni.

82. L'influenza del movimento della Terra intorno al Sole sulla durata del giorno e sugli altri effetti delle stagioni è discussa con qualche particolare, ed illustrata dai disegni che abbiamo qui riprodotti (1).

Nella fig. 41, *A, B, C, D* rappresentano il centro della Terra in quattro posizioni, occupate da essa verso il 23 dicembre, il 21 marzo, il 22 giugno, ed il 22 settembre ri-

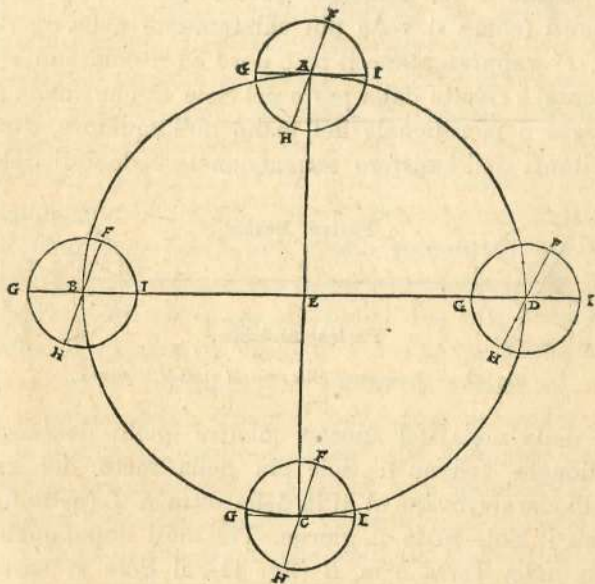



Fig. 41. — *Spiegazioni delle stagioni secondo Copernico.*

spettivamente (cioè al principiare delle quattro stagioni, secondo il computo astronomico); il cerchio *FGHI*, in ciascuna delle sue posizioni, rappresenta l'equatore della Terra, cioè un cerchio massimo sulla Terra, il cui piano è perpendicolare all'asse della Terra, ed è perciò sempre pa-

(1) La fig. 42 è stata alquanto alterata, in modo da metterla in relazione con la fig. 41.

rallelo all'equatore celeste. Questo cerchio non è nel piano dell'eclittica, ma inclinato su di esso di 23° e ½, così che F si deve sempre supporre *al di sotto* ed H *al di sopra* del piano della carta (che rappresenta l'eclittica); l'equatore taglia l'eclittica secondo G I. Il disegno (secondo l'uso comune nei disegni astronomici) rappresenta i diversi cerchi come sono veduti dalla parte settentrionale dell'equatore e dell'eclittica. Quando la Terra è in A, il polo nord (come si vede più chiaramente nella fig. 42, in cui P, P' rappresentano il polo nord ed il polo sud rispettivamente) è rivolto dalla parte del Sole E, che è nella parte più bassa o meridionale del piano dell'equatore, e quindi gli abitanti dell'emisfero settentrionale vedono il Sole per

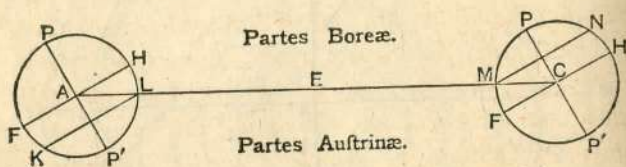



Fig. 42. — *Spiegazione delle stazioni secondo Copernico.*

meno della metà del giorno, mentre quelli dell'emisfero meridionale vedono il Sole più della metà del giorno, e quelli che si trovano al di là della retta K L (nella fig. 42) vedono il Sole tutto il giorno. Tre mesi dopo, quando il centro della Terra è in B (fig. 41), il Sole si trova nel piano dell'equatore, i poli della Terra non sono rivolti, nè verso il Sole, nè fuori di esso, ma accanto, e da per tutto sulla Terra il giorno è di 12 ore e la notte pure di 12 ore. Dopo tre mesi ancora, quando cioè il centro della Terra è in C, il Sole è sopra il piano dell'equatore, e gli abitanti dell'emisfero boreale vedono il Sole più di mezza giornata, quelli dell'emisfero australe vedono il Sole meno di mezza giornata, mentre quelli che si trovano in luoghi della Terra più lontani dal nord della linea M N (nella figura 42) vedono il Sole tutte le 24 ore. Finalmente, quando

siamo all'equinozio di autunno, la Terra è arrivata in D (fig. 41), il Sole trovasi ancora nel piano dell'equatore, ed il giorno è dappertutto eguale alla notte.

83. Copernico dedica i primi undici capitoli del I libro a questo abbozzo preliminare del suo sistema; il rimanente di questo libro contiene alcune proposizioni matematiche ed alcune tavole, che, come si è ricordato precedentemente (§ 74), era già stato separatamente pubblicato da Rheticus.

Il II libro contiene principalmente un certo numero di risultati comuni, relativi alla sfera celeste ed al suo moto diurno apparente, trattato in gran parte come lo fu dai primi scrittori, ma con maggiore perizia matematica. Copernico dà incidentalmente il suo valore della obliquità dell'eclittica, e deduce, da un confronto con le prime osservazioni, che l'obliquità era diminuita, come infatti era vero, quantunque in misura molto minore di quella che egli aveva dedotto con le sue imperfette osservazioni. Il libro termina con un Catalogo di stelle, che è il Catalogo di Tolomeo, di quando in quando corretto mediante nuove osservazioni, e riordinato in modo da evitare gli effetti della precessione (1). Quando, come frequentemente accadeva, le traduzioni greche e latine dell'*Almagesto* davano, essendo gli errori dovuti ai copisti o agli stampatori, risultati diversi, Copernico sembra abbia seguìto qualche volta la traduzione latina e qualche volta la traduzione greca, senza, in generale, tentare di assicurarsi con nuove osservazioni quale fosse la giusta.

84. Il III libro incomincia con una accurata discussione della precessione degli equinozî (Cap. II, § 42). Da un con-

---

(1) Copernico, invece di dare le longitudini come misurate dal primo punto dell'Ariete (o punto equinoziale, Cap. I, § 11 e 13), che si muove a causa della precessione, misurò le longitudini da una stella fissa come caposaldo (di *Ariete*) non lontana da questo punto.

fronto dei risultati ottenuti da Timocare, Copernico deduce che il valore totale della precessione ha variato, ma che il suo valore medio annuo è 50″ 2 (presso che esattamente il vero valore), ed accetta, in conseguenza, l'infelice ipotesi della trepidazione di Tàbit ben Korra (Cap. III, § 58). Un esame dei dati adoperati da Copernico fa vedere che gli errori o le osservazioni fraudolenti di Tolomeo (Cap. II, § 50) sono state principalmente la causa della perpetuazione di questi errori.

Molto più interessante della discussione particolareggiata della trepidazione e dei disegni geometrici per rappresentarla, è la interpretazione della precessione come risultato di un movimento dell'asse della Terra. La precessione fu, in origine, riconosciuta da Ipparco come un movimento dell'equatore celeste, in cui la sua inclinazione sulla eclittica era sensibilmente inalterabile. Ora le idee di Copernico fanno dipendere l'equatore celeste dall'equatore della Terra; esso infatti è un cerchio massimo della sfera celeste, che è sempre perpendicolare all'asse, intorno al quale la Terra ruota quotidianamente. Perciò la precessione, nella teoria di Copernico, nasce da un movimento lento dell'asse della Terra, che si muove in modo da rimanere sempre inclinato dello stesso angolo sull'eclittica, e da ritornare nella sua posizione primitiva dopo un periodo di circa 26,000 anni (dacchè un movimento di 50″, 2 annui è equivalente a 360° o ad un completo giro in quel periodo); in altre parole, l'asse della Terra ha un lento movimento conico, essendo la retta centrale (od asse) del cono perpendicolare al piano dell'eclittica (1).

(1) Cioè l'asse di rotazione della Terra descrive (astraendo dalla nutazione) il manto curvilineo d'un cono intorno all'asse dell'eclittica che si suppone invariato nello spazio (astraendo dalle perturbazioni dei pianeti). Detto asse di rotazione della Terra individua ad ogni istante i poli celesti. Il moto conico è all'incirca propor-

85. Avendo trattato della precessione, la maggior parte del resto del III libro è dedicata ad una discussione particolareggiata del movimento annuale apparente del Sole intorno alla Terra, che corrisponde al movimento annuo reale della Terra attorno al Sole. La teoria geometrica dell'*Almagesto* era atta ad essere applicata immediatamente al nuovo sistema, e Copernico, come Tolomeo, usa un eccentrico. Egli fa i calcoli di nuovo, giunge ad un valore minimo e più esatto della eccentricità $\left(\text{circa } \frac{1}{31} \text{ invece di } \frac{1}{24}\right)$, determina la posizione dell'apogeo e del perigeo (Cap. II, § 39), o meglio degli equivalenti *afelio* e *perielio* (cioè i punti dell'orbita della Terra, ove essa è rispettivamente più distante e più vicina al Sole); e così verifica la scoperta di Albategna (Cap. III, § 59), del movimento della linea degli apsidi. La teoria del movimento della Terra è trattata con qualche particolare, e sono date delle tavole, con le quali la posizione apparente del Sole può essere in qualunque tempo facilmente calcolata.

Il IV libro tratta della teoria della Luna. Come è già stato osservato, la Luna era il solo corpo celeste, la cui posizione nell'universo fu lasciata sostanzialmente inalterata da Copernico, e quindi si poteva aspettare che una piccola alterazione sarebbe stata richiesta nella teoria tradizionale. Realmente, per altro, vi è a mala pena qualche parte del soggetto, in cui Copernico fece maggiormente diminuire la discrepanza fra la teoria e l'osserva-

---

zionale al tempo; il suo valore annuale oscilla fra i secoli da 48″ a 52″; attualmente è appunto circa 50″,2, d'onde il periodo medio del giro completo è valutato in circa 25,800 anni. L'asse oggidì incontra nell'emisfero boreale la sfera celeste in un punto lontano $1^{\circ}\frac{1}{4}$ dalla Stella Polare; la minima distanza da essa avrà luogo verso la fine di questo secolo; e in periodo di circa 13,000 anni a partire dal 2000 la Polare disterà dal polo di 46°.

(*N. del Tr.*).

zione. Egli non accetta l'equante di Tolomeo (Cap. II, § 51), in parte, per la ragione che produce un movimento irregolare che non si addice ai corpi celesti; in parte, per la sostanziale ragione che, come già fu osservato (Cap. II, § 48), la teoria di Tolomeo fa la grandezza apparente della Luna, in alcuni casi, due volte maggiore che negli altri. Da una disposizione degli epicicli, Copernico riuscì a rappresentare le principali irregolarità nel movimento della Luna, l'evezione compresa, ma senza la precessione (*prosneusis*) di Tolomeo (Cap. II, § 48) od ineguaglianza di Abul Wafa (Cap. III, § 60); mentre fece i cambiamenti nella distanza della Luna, e, conseguentemente, nella sua grandezza apparente, non molto maggiori di quelli che realmente si verificano, la differenza essendo impercettibile coi grossolani metodi di osservazione che egli usava (1).

Discutendo le distanze e le grandezze del Sole e della Luna, Copernico segue Tolomeo scrupolosamente (Cap. II, § 49; cfr. pure la fig. 20); egli arriva in sostanza allo stesso valore della distanza della Luna; ma fa la distanza del Sole 1500 volte il raggio della Terra; così migliorò, con qualche estensione, il valore tradizionale, che era fondato su quello di Tolomeo. Egli pure trattò alquanto particolareggiatamente dell'effetto della parallasse sulla posizione apparente della Luna, e delle variazioni nella grandezza apparente, dovuta alle variazioni della distanza; ed il libro termina con una discussione sugli eclissi.

86. Gli ultimi due libri (V e VI) trattano finalmente del movimento dei pianeti.

---

(1) Secondo la teoria di Copernico, il diametro della Luna, quando è massimo, era circa $\frac{1}{8}$ maggiore del suo valore medio; le moderne osservazioni fanno questa frazione circa $\frac{1}{13}$. Ora, per supporlo altrimenti, il diametro della Luna, quando è massimo, doveva eccedere il suo valore, allorchè è minimo di circa 8′ secondo Copernico, e di 5′ giusta le osservazioni moderne.

Nei casi di Mercurio e Venere, la spiegazione del movimento dato da Tolomeo si poteva, con poca difficoltà, riordinare in modo da concordare con le idee di Copernico. Noi abbiamo visto (Cap. II, § 51) che, essendo ignote le irregolarità minori, il movimento di uno o dell'altro di questi pianeti si poteva rappresentare mediante un epiciclo, che si muove su di un deferente, essendo il centro dell'epiciclo sempre nella direzione del Sole, il rapporto della grandezza dell'epiciclo e del deferente essendo fisso, ma

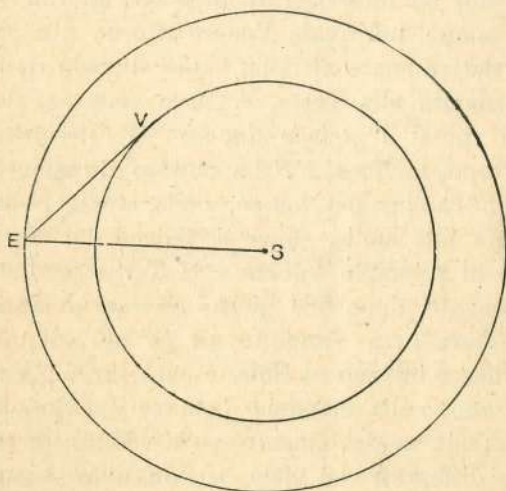



Fig. 43. — *Le orbite di Venere e della Terra.*

le dimensioni reali essendo praticamente arbitrarie. Tolomeo, in complesso, preferì di riguardare gli epicicli di entrambi questi pianeti come giacenti fra la Terra ed il Sole. L'idea di fare il Sole centro del movimento, una volta accettata, era una ovvia semplificazione porre il centro dell'epiciclo non veramente nella direzione del Sole, ma che fosse effettivamente il Sole stesso. Infatti, se il pianeta in questione ruota intorno al Sole alla sua propria distanza e con la sua velocità, le stesse apparenze si sa-

rebbero prodotte come con l'epiciclo ed il deferente di Tolomeo, l'orbita del pianeta attorno al Sole sostituendo l'epiciclo, e l'orbita apparente del Sole intorno alla Terra (o l'orbita della Terra intorno al Sole) costituendo il deferente.

Discutendo il tempo della rivoluzione di un pianeta, si fece una distinzione come nel caso della Luna (Cap. II, § 40), fra i periodi sinodico e siderale della rivoluzione. Venere, per esempio, si vede come una stella della sera alla sua massima distanza angolare dal Sole (come in V nella fig. 43) ad intervalli di circa 584 giorni. Questo è perciò il tempo, nel quale Venere ritorna alla stessa posizione relativamente al Sole, come si vede dalla Terra, o relativamente alla Terra, come si vede dal Sole; questo tempo dicesi il *periodo sinodico*. Ma siccome, durante questo tempo, la linea ES ha mutato direzione, Venere non è, con l'andar del tempo, nella stessa posizione relativamente alle stelle, come si vede o dal Sole o dalla Terra. Se al principio Venere e la Terra sono in V_1, E_1 rispettivamente, dopo 584 giorni (o circa un anno e sette mesi) la Terra avrà compiuto un po' più di una rivoluzione e mezzo intorno al Sole, e sarà in E_2; Venere, essendo di nuovo alla massima distanza dal Sole, sarà perciò in V_2; ma evidentemente sarà veduto in una parte del tutto differente del cielo, e non avrà compiuto una esatta rivoluzione intorno al Sole. È importante conoscere come, col tempo, la linea SV, ritorni alla stessa posizione, cioè come col tempo Venere ritorni alla stessa posizione rispetto alle stelle, come vedesi dal Sole, intervallo di tempo conosciuto col nome di *periodo siderale*. Questo evidentemente si può calcolare mediante la semplice *regola del tre*, eseguita con le quantità date. Poichè Venere in 584 giorni ha guadagnato una rivoluzione completa sulla Terra, od ha girato quanto la Terra avrebbe girato in 584 + 365, ossia 949 giorni (le frazioni di giorno essendo state trascurate per semplicità), quindi Venere ruota

in $584 \times \frac{365}{949}$ giorni quanto la Terra in 365 giorni; cioè Venere compie una rivoluzione in $584 \times \frac{365}{949}$ ossia 225 giorni. Questo è perciò il periodo siderale di Venere. Il procedimento adoperato da Copernico era differente; siccome egli vide il vantaggio di usare un lungo periodo di tempo in modo da diminuire l'errore dovuto alle irregolarità minori, e quindi si procurò due osser-

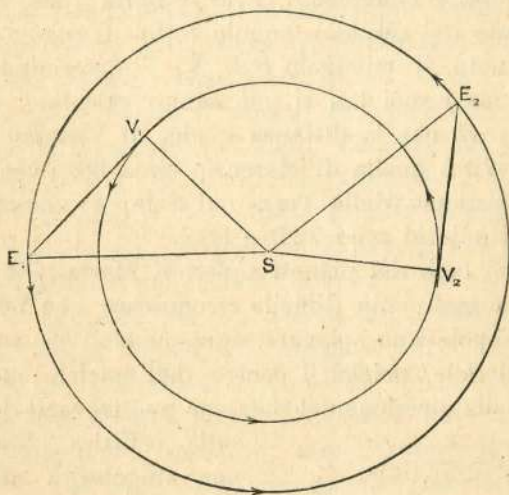



Fig. 44. — *Periodi sinodico e siderale di Venere.*

vazioni di Venere ad una considerevole distanza di tempo, in cui Venere occupava quasi la stessa posizione, tanto rispetto al Sole quanto alle stelle, così che l'intervallo di tempo conteneva assai prossimamente un esatto numero di periodi siderali come di periodi sinodici. Col dividere perciò l'intervallo di tempo osservato pel numero dei periodi siderali (che essendo in numero intiero, potevano subito essere calcolati), il periodo siderale si otteneva facilmente. Un procedimento simile mostrava che

il periodo sinodico di Mercurio era circa 116 giorni, ed il periodo siderale circa 88 giorni.

Le grandezze comparative delle orbite di Venere e Mercurio, così paragonate con quella della Terra, possono facilmente essere verificate con le osservazioni della posizione dell'uno o dell'altro pianeta, quando sono più distanti dal Sole. Venere, per esempio, sembra alla sua massima distanza dal Sole quando si trova nel punto V_1 (fig. 44), così che $V_1 E_1$ è tangente al cerchio, nel quale gira Venere, e l'angolo $E_1 V_1 S$ è allora (per una proprietà nota del cerchio) angolo retto. L'angolo $S E_1 V_1$ essendo noto, il triangolo $S E_1 V_1$ è determinato, ed il rapporto fra i suoi lati si può subito calcolare. Così Copernico trovò che la distanza media di Venere dal Sole era circa 72 e quella di Mercurio circa 36, avendo preso 100 per distanza della Terra dal Sole; i numeri corrispondenti odierni sono 72,3 e 38,7.

87. Nel caso dei pianeti superiori Marte, Giove e Saturno, era molto più difficile riconoscere che i loro movimenti si potevano spiegare, supponendoli che ruotassero intorno al Sole, poichè il centro dell'epiciclo non giace sempre nella direzione del Sole, ma può trovarsi dovunque sulla eclittica. Nondimeno una singolarità nel movimento di uno qualunque dei pianeti superiori poteva facilmente avere suggerito il loro movimento intorno al Sole, e fu, o completamente trascurato da Tolomeo, o non fu riconosciuto da lui come importante. È possibile che essa fosse uno dei bandoli, che conducesse Copernico al suo sistema. Questa singolarità sta nel fatto che il raggio

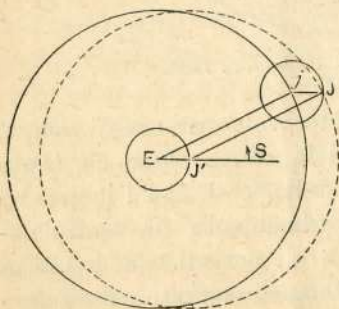



Fig. 45. — *L'epiciclo di Giove.*

dell'epiciclo del pianeta, $j\,I$, è sempre parallelo alla linea $E\,S$, che congiunge la Terra ed il Sole; e perciò compie una intiera rivoluzione in un anno. Questa connessione fra il movimento del pianeta e quello del Sole non ebbe alcuna spiegazione con la teoria di Tolomeo. Ora se conduciamo $E\,I'$ parallela ad $j\,I$ ed uguale ad essa in lunghezza, si vede facilmente (1) che la retta $I'\,I$ è uguale e parallela ad $E\,j$, che perciò J descrive un cerchio intorno ad J' precisamente come j intorno ad E. Quindi il movimento del pianeta si può egualmente bene rappresentare col supporlo muoversi in un epiciclo (rappresentato dal cerchio punteggiato a tratti nella figura) di cui J' è il centro ed $J'\,I$ il raggio, mentre il centro dell'epiciclo, rimanendo sempre nella direzione del Sole, descrive un deferente (rappresentato dal piccolo cerchio intorno ad E), di cui la Terra è il centro. Con questo metodo di rappresentazione il movimento del pianeta superiore è esattamente simile a quello di un pianeta inferiore, salvo che il suo epiciclo è maggiore del suo deferente; lo stesso ragionamento di prima mostra che il movimento si può rappresentare semplicemente supponendo che il centro J' sia effettivamente il Sole. All'epiciclo ed al deferente di Tolomeo si può perciò sostituire, senza alterare la posizione del pianeta nel cielo, un movimento del pianeta in un cerchio intorno al Sole, mentre il Sole si muove attorno alla Terra, o, più semplicemente, la Terra attorno al Sole.

Il periodo sinodico di un pianeta superiore si potrebbe meglio determinare con l'osservarlo quando il pianeta fosse in opposizione, cioè mentre fosse (quasi) opposto al Sole, o, più esattamente (giacchè un pianeta non si muove precisamente sulla eclittica) allorchè le longitudini del pianeta e del Sole differiscono di 180° (o due angoli retti, Cap. II, § 43). Il periodo siderale si può quindi dedurre press'a poco come

(1) Euclide, lib. I, prop. 33.

nel caso di un pianeta inferiore, con questa differenza, che il pianeta superiore si muove più lentamente della Terra, e perciò *perde* un'intiera rivoluzione in ciascun periodo sinodico; o il periodo siderale si poteva trovare come prima con l'osservazione, allorchè avvenivano le opposizioni quasi nella stessa parte del cielo (1). Copernico così ottenne benissimo valori esatti per i periodi sinodico e siderale, cioè 780 giorni e 687 giorni rispettivamente per Marte, 399 giorni e circa 12 anni per Giove, 378 giorni e 30 anni per Saturno (cfr. fig. 40).

La determinazione della distanza di un pianeta superiore dal Sole è molto più complicata di quella di Venere o Mercurio. Se noi omettiamo diversi particolari, il procedimento seguìto da Copernico consiste nel calcolare la posizione del pianeta, come si vede dal Sole; e quindi, nell'osservare quando questa posizione differisce maggiormente dalla sua posizione, come si vede dalla Terra, cioè quando la Terra ed il Sole sono più distanti fra loro, come se fossero visti dal pianeta. Ciò è chiaro quando (fig. 46) la retta che congiunge il pianeta (P) alla Terra (E) è tangente al cerchio, descritto dalla Terra, così che l'angolo SPE è perciò tanto grande

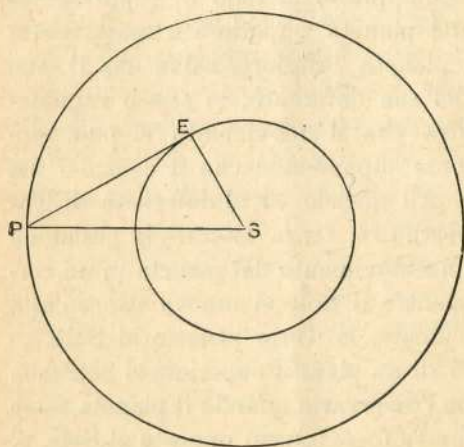



Fig. 46. — *Le dimensioni relative delle orbite della Terra e di un pianeta superiore.*

(1) Se P è il periodo sinodico di un pianeta (in anni), ed S il periodo siderale, allora abbiamo evidentemente $\frac{1}{P}+1=\frac{1}{S}$ per un pianeta inferiore e, $1-\frac{1}{P}=\frac{1}{S}$ per un pianeta superiore.

quanto è possibile. L'angolo EPS è un angolo retto, e l'angolo SPE è la differenza fra la posizione osservata del pianeta e la sua posizione calcolata come si vede dal Sole; questi due angoli così essendo noti, il triangolo SPE è determinato, e quindi anche il rapporto dei suoi lati. In questo modo Copernico trovò che le distanze medie di Marte, Giove e Saturno dal Sole erano rispettivamente 1 ½, 5 e 9 quella della Terra; i valori odierni corrispondenti sono 1,5; 5,2; 9,5.

88. La spiegazione dei punti stazionari dei pianeti (Cap. I, § 14) è vieppiù semplificata dalle idee di Copernico.

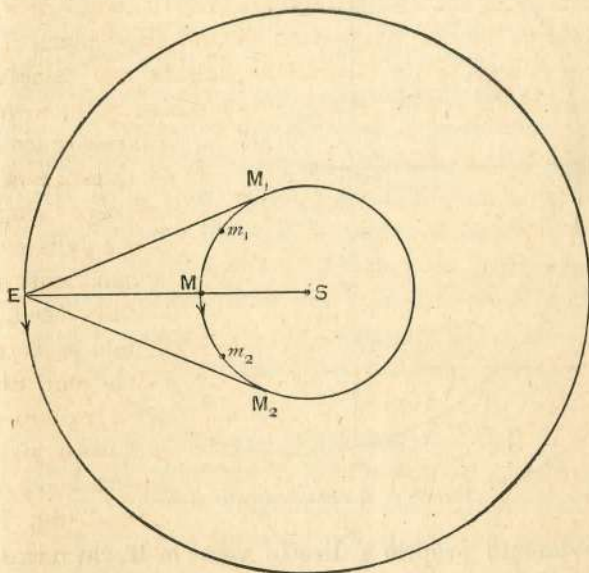



Fig. 47. — *Il punto stazionario di Mercurio.*

Se noi consideriamo prima un pianeta inferiore, per es. Mercurio (fig. 47), allora, quando esso si trova fra la Terra ed il Sole, come in M (o come il 5 settembre nella fig. 7), tanto la Terra, quanto Mercurio si muovono nella stessa direzione; ma un confronto delle grandezze delle orbite di Mercurio e la Terra, e dei loro rispettivi tempi per com-

piere intiere rivoluzioni, mostra che Mercurio si muove più velocemente della Terra. Perciò all'osservatore in E, Mercurio sembra muoversi da sinistra a destra (nella figura), o da oriente ad occidente; ma ciò è contrario alla direzione generale del movimento dei pianeti, cioè Mercurio sembra retrocedere. D'altra parte, quando Mercurio sembra alla massima distanza dal Sole, come in M_1 e M_2, il

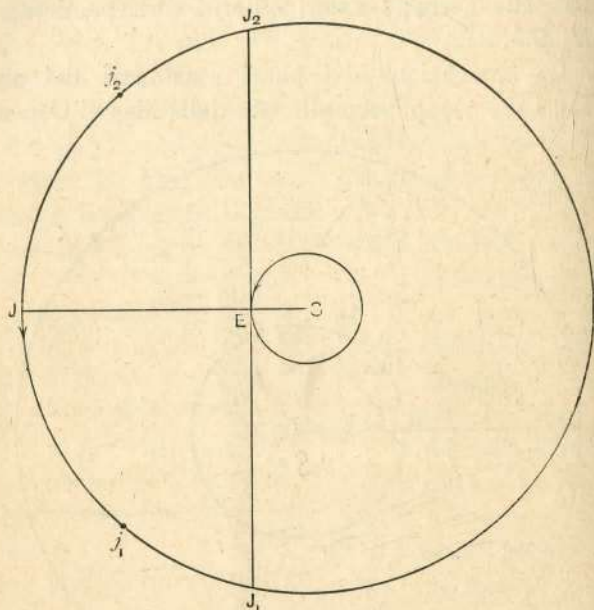



Fig. 48. — *Il punto stazionario di Giove.*

suo movimento proprio è diretto verso la Terra o in senso inverso, ed è perciò impercettibile; ma la Terra è verso la destra dell'osservatore, e perciò Mercurio sembra muoversi verso sinistra, o da occidente ad oriente. Quindi fra M_1 ed M il suo movimento si è cambiato da diretto in retrogrado, e quindi in qualche punto intermedio, per es., in m_1 (verso il 23 agosto nella fig. 7) Mercurio pare pel momento sia stazionario, e similmente sembra sia stazionario

di nuovo, quando è in qualche punto m_2 fra M ed M_2 (verso il 13 settembre nella fig. 7).

Nel caso di un pianeta superiore, come Giove, il ragionamento è quasi identico. Quando è in opposizione in J (come nel 26 marzo nella fig. 6), Giove si muove più lentamente della Terra, e nella stessa direzione, e quindi sembra muoversi nella direzione opposta alla Terra, cioè come si vede da E (fig. 48), da sinistra a destra, o da oriente ad occidente, che è nella direzione retrograda. Ma quando Giove è nell'una o nell'altra delle posizioni I_1 e I (in cui la Terra sembra all'osservatore in Giove sia alla sua massima distanza dal Sole), il movimento della Terra stessa, essendo diretto verso Giove o da Giove, non produce alcun effetto sul movimento apparente di Giove (giacchè qualunque spostamento diretto verso l'osservatore o dall'osservatore non produce alcuna differenza nella posizione dell'oggetto sulla sfera celeste); ma Giove stesso si muove effettivamente verso sinistra, e perciò il moto di Giove sembra sia anche da destra a sinistra, o da occidente verso oriente. Quindi, come prima, fra I_1 e J e fra J ed J_2 vi devono essere i punti j_1, J_2 (24 gennaio e 27 maggio, nella fig. 6), in cui Giove sembra pel momento essere stazionario.

L'attuale discussione dei punti stazionari dati da Copernico è assai più elaborata e più tecnica di questo sunto dato qui; così egli non solo mostra che i punti stazionari debbono esistere, ma mostra come si debbono calcolare le loro esatte posizioni.

89. Fin qui la teoria dei pianeti è solo stata abbozzata assai grossolanamente, affine di mettere in rilievo le differenze essenziali fra le spiegazioni date da Copernico e da Tolomeo dei loro movimenti, e nessuna ragione è stata portata sulle irregolarità, per le quali Tolomeo immaginò il suo sistema di equanti, eccentrici, ecc., nè del movimento nella latitudine, cioè verso e dall'eclittica. Copernico,

come già si è detto, non accettò l'equante, poichè producendo una irregolarità, era " indegno „ dei corpi celesti; e costruì per ciascun pianeta addirittura un complicato sistema di epicicli. Pel movimento della latitudine, discusso nel libro VI, egli suppose che l'orbita di ciascun pianeta intorno al Sole fosse inclinata sull'eclittica di un piccolo angolo, differente per ciascun pianeta; ma la trovò necessaria affinchè la sua teoria si accordasse con la osservazione, per far conoscere intieramente l'immaginaria complicazione di un regolare aumento e diminuzione nelle inclinazioni delle orbite dei pianeti sull'eclittica.

Le effettive descrizioni degli epicicli impiegati non sono ora di grande importanza, ma può valer la pena di osservare che per i movimenti della Luna, della Terra e dei cinque altri pianeti, Copernico domandasse in tutto 34 circoli, cioè quattro per la Luna, tre per la Terra, sette per Mercurio (il cui moto è singolarmente irregolare), e cinque per ciascuno degli altri pianeti; questo numero è minore di quello richiesto nella maggior parte delle traduzioni del sistema di Tolomeo: Fracastoro (Cap. III, § 69), per esempio, scrivendo nel 1538, domandò 79 sfere, sei delle quali si richiedevano per le stelle fisse.

90. La teoria planetaria di Copernico necessariamente soffriva di uno dei difetti essenziali del sistema degli epicicli. Infatti, è sempre possibile di scegliere un sistema di epicicli in guisa tale da fare variare o la direzione di qualunque corpo o la sua distanza in modo qualunque richiesta, ma non di soddisfare le condizioni volute ad un tempo. Quindi nel caso del movimento della Luna intorno alla Terra, o della Terra intorno al Sole, casi in cui le variazioni nella distanza non si potevano subito osservare, si poteva, comunque sia, sperare che gli epicicli dessero un soddisfacente risultato, finchè i metodi di osservazione non fossero sufficientemente perfezionati per misurare con qualche esattezza le grandezze apparenti del Sole e della Luna,

e così verificare le variazioni nelle loro distanze. Ma qualunque variazione nella distanza della Terra dal Sole non altererebbe semplicemente la distanza, ma anche la direzione, in cui si vedrebbe un pianeta; nella figura 49, per es., quando il pianeta è in *P* ed il Sole è in *S*, l'apparente posizione del pianeta, come si vede dalla Terra, sarà differente secondo che la Terra è in *E* o in E_1. Quindi gli epicicli e gli eccentrici di Copernico, che erano disposti in modo che essi necessariamente implicavano valori inesatti

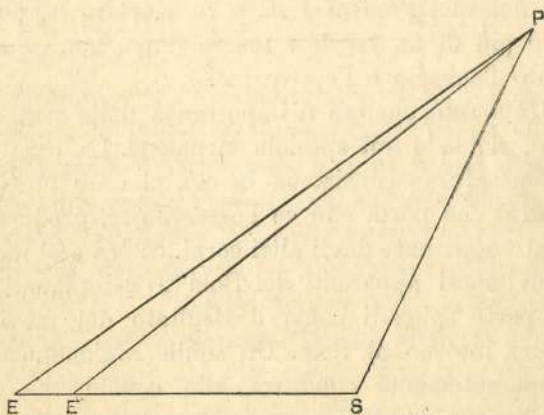



Fig. 49. — *L'alterazione in un'apparente posizione di un pianeta dovuta ad un'alterazione nella distanza della Terra dal Sole.*

delle distanze fra il Sole e la Terra, davano origine ai corrispondenti errori nelle posizioni osservate nei pianeti. Le osservazioni utilizzate da Copernico a mala pena potevano porre in luce questa discrepanza: la prova decisiva fra la rappresentazione epiciclica od un'altra rappresentazione geometrica doveva derivare da nuove e più rigorose osservazioni.

91. I meriti di Copernico sono così grandi, e la parte che egli ebbe nel distruggere il sistema Tolemaico è così cospicua, che siamo talvolta proclivi a dimenticare che,

fin qui, non accettando gli epicicli e gli eccentrici dei Greci, egli non adoprò nessun altro espediente, e fu anche un " epiciclico " più ortodosso di Tolomeo stesso, da respingere gli equanti di quest'ultimo (1). La famosa descrizione di Milton (*Paradiso perduto*, VIII, 82-5) che:

> « La sfera
> Col centrico e l'eccentrico scarabocchiava sopra
> Il ciclo e l'epiciclo, di orbe in orbe »,

si applica perciò tanto all'Astronomia di Copernico quanto a quella dei suoi predecessori; e fu Keplero (Capo VII), scrivendo più di un secolo e mezzo dopo, non Copernico, che rifiutò l'epiciclo e l'eccentrico.

92. Un punto, che era d'importanza nelle controversie posteriori, richiede qui speciale menzione. La base del sistema Copernicano consisteva in ciò, che un movimento della Terra, che porta con sè l'osservatore, produceva un movimento apparente degli altri corpi. Si era così mostrato che i movimenti apparenti del Sole e dei pianeti erano in gran parte spiegati come il risultato del movimento della Terra intorno al Sole. Un simile ragionamento doveva apparentemente condurre alla conclusione che le stelle fisse pure dovevano sembrare avere un movimento annuo. Infatti vi sarebbe così uno spostamento nella posizione apparente di una stella, dovuto all'alterazione della posizione nella sua orbita, la quale rassomigliava esattamente all'alterazione nella posizione apparente della Luna,

(1) Recenti biografi hanno richiamato l'attenzione su un passo cancellato dal *De Revolutionibus*, in cui Copernico dimostra che un'ellisse può essere generata da una combinazione di moti circolari. La proposizione è tuttavia solo un frammento di matematica pura, e non ha alcuna relazione coi movimenti dei pianeti intorno al Sole. Perciò non può essere propriamente riguardata, in qualunque modo, che come un'anticipazione delle idee di Keplero (Cap. VII).

dovuta all'alterazione della posizione dell'osservatore sulla Terra, che era stata studiata per lungo tempo sotto il nome di " parallasse " (Cap. II, § 43). Siccome un tale spostamento non era stato mai osservato, Copernico spiegò l'apparente contraddizione col supporre le stelle fisse così lontane che qualsiasi movimento, dovuto a questa causa, era troppo piccolo da potere essere notato. Se, per esempio, la Terra si muove in sei mesi da E ad E', il cam-

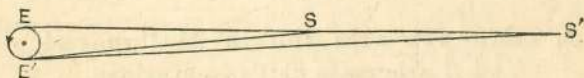



Fig. 50. — *Parallasse stellare.*

biamento in direzione di una stella in S' è l'angolo $E' S' E$, che è minore di quello di una stella più vicina ad S; e col supporre la stella S' abbastanza lontana, l'angolo $E' S E'$ si può fare tanto piccolo quanto si vuole. Per esempio, se la distanza della stella fosse 300 volte maggiore della distanza $E E'$, cioè 600 volte maggiore della distanza della Terra dal Sole, l'angolo $E S' E'$ sarebbe minore di 12′, quantità che gli strumenti di quell'epoca erano appena capaci di svelare (1). Ma si poteva osservare che osservazioni più esatte delle posizioni delle stelle fisse avrebbero gettato nuova luce su questo problema.

(1) Si può osservare che il metodo differenziale della parallasse (Cap. VII, § 129), per cui una quantità come 12′ poteva essere osservata, era messa fuori di discussione dall'ipotesi generale, condivisa da Copernico, che le stelle fossero tutte alla stessa distanza da noi.

CAPITOLO V.

L'annuenza alla teoria di Copernico ed il progresso dell' osservazione.

I falsi ingegni che non possono navigare a bell' agio
Nel canale piano del nostro senso comune,
E tali sono quelli, almeno nel mio concetto,
Quei dotti che pensano e ritengono come assurda una facezia!
Che nè i cieli, nè le stelle non si muovano affatto,
Nè danzano attorno a questo gran rotondo globo terrestre,
Ma la Terra stessa, questo nostro globo massiccio,
Compie una rotazione ogni ventiquattro ore!

Du Bartas (da una traduzione di Sylvester).

93. La pubblicazione del *De revolutionibus* sembra essere stata accolta molto più tranquillamente di quello che si potesse aspettare per la sorprendente natura di ciò che conteneva. Il libro infatti era scritto in modo da essere inintelligibile, salvo che ai matematici di grande sapere e capacità, e non poteva essere generalmente letto da tutti. Inoltre la prefazione, inserita da Osiander (ma generalmente supponevasi che fosse dell'autore stesso), doveva aver influito non poco per disarmare la critica ostile, dovuta al pregiudizio ed all' abitudine, col rappresentare i principî fondamentali di Copernico come semplici astrazioni geometriche, adatte per calcolare i moti celesti. Tuttavia, come si è veduto (Cap. IV, § 73), la contraddizione fra le opinioni di Copernico e l'ordinaria interpretazione dei diversi passi della Bibbia fu subito osservata da Lutero,

Melanchthon e da altri; nessuna obbiezione invece fu sollevata o dal papa, a cui il libro era dedicato, o dai suoi immediati successori.

L'entusiastica difesa delle vedute di Copernico da parte di Rheticus è già stata ricordata. Il solo altro astronomo di qualche valore, che subito accettò le nuove vedute, fu il suo amico e collega *Erasmo Reinhold* (nato a Saalfeld nel 1511), che occupò la cattedra primaria di Matematica ed Astronomia a Wittenberg dal 1536 al 1553; e si verificò questo fatto assai curioso, che le dottrine, condannate così accanitamente da' due principali seguaci del protestantismo, vennero difese energicamente, sopra tutto in quella sede, che era generalmente riguardata come il vero centro del pensiero protestante.

94. Rheticus, dopo la pubblicazione della *Narratio prima* e di un'Effemeride od Almanacco, fondata sui principî copernicani (1550), si occupò principalmente del calcolo di una estesissima serie di tavole matematiche, che riuscì solo a finire proprio prima di morire nel 1576.

Reinhold rese all'Astronomia il più importante servizio per calcolare, sulla base del *De revolutionibus*, le tavole dei moti dei corpi celesti, le quali furono pubblicate nel 1551 a spese del duca Alberto di Prussia, chiamate *Tabulæ Prutenicæ*, ossia *Tavole Prussiane*. Reinhold rivide la maggior parte dei calcoli fatti da Copernico, i quali erano qualche volta errati; ma lo scopo principale delle tavole consisteva nello svolgimento, molto particolareggiato dell'opera *De revolutionibus*, dato in una forma tale, che le posizioni dei principali corpi celesti, in qualunque tempo potevano essere con facilità determinate. L'autore pretese che con le sue tavole le posizioni di tutti i corpi celesti si potessero calcolare per 3000 anni addietro, accordandosi con tutte le osservazioni registrate durante quel periodo. Le tavole, infatti, furono trovate, in complesso, certissimamente superiori alle *Tavole Alfonsine*, che le pre-

cedettero (Cap. III, § 66); e, a poco a poco, esse furono sempre più accette, finchè non vennero superate, tre quarti di secolo dopo, dalle *Tavole Rodolfine* di Keplero (Cap. VII, § 148). Questa superiorità delle nuove tavole dipendeva solo indirettamente dalla differenza dei principî su cui le due serie di tavole erano state fondate, ed era in gran parte dovuta al fatto, che Reinhold fu un calcolatore migliore degli assistenti di Alfonso, e che Copernico, se non era un matematico superiore a Tolomeo, per altro aveva a sua disposizione mezzi matematici più perfezionati. Tuttavia le tavole naturalmente esercitavano una grande influenza nello indurre gradatamente il mondo astronomico a riconoscere i meriti del sistema Copernicano, se non altro, come base per calcolare le posizioni dei corpi celesti.

Reinhold fu disgraziatamente vittima della peste nel 1553, e con lui scomparve un commento del *De revolutionibus*, che egli aveva preparato, ma non pubblicato.

95. Subito dopo, troviamo i primi indizi, dai quali si scorgeva che il sistema Copernicano si era già diffuso nell'Inghilterra. Nel 1556, *Giovanni Field* pubblicò un Almanacco per l'anno successivo, fondato evidentemente su Copernico e Reinhold, ed un passo del *Wheistone of Witte* (*pietra da affilare*) di *Roberto Recorde* (1510-1558), nostro primo scrittore in algebra, mostra che l'autore riguardava le dottrine di Copernico favorevolmente, anche se egli non credesse intieramente in esse. Pochi anni dopo, *Tommaso Digges* (?-1595), nel suo *Alæ sive Scalæ Mathematicæ* (1573), trattato astronomico di pochissima importanza, fece un caldo elogio di Copernico e delle sue idee.

96. Durante quasi mezzo secolo dopo la morte di Reinhold, nessuna importante contribuzione fu fatta alla questione copernicana. Le tavole di Reinhold, senza dubbio, compirono lentamente la loro opera nel famigliarizzare la mente umana alle nuove idee; ma occorrevano ben'altre

speciali aggiunte alla scienza perchè la dimostrazione della verità del nuovo sistema si potesse dire concludente.

Le serie difficoltà meccaniche dipendenti dall' ipotesi di un rapido movimento attribuito alla Terra, che è del tutto impercettibile ai suoi abitanti, si potevano solo rimuovere mediante i nuovi progressi della Meccanica, e specialmente con quelli riguardanti la conoscenza delle leggi, secondo le quali il moto dei corpi viene prodotto, si conserva, cambia, o si annulla; non fu fatto in questo senso nessun considerevole progresso prima dell' epoca di Galilei, la cui opera cade principalmente nel principio del XVII secolo (cfr. Cap. VI, §§ 116, 130, 133).

L'obbiezione al sistema Copernicano, cioè che le stelle mostravano nessuno di tali moti annuali apparenti, come accade per il moto della Terra (Cap. IV, § 92), sarebbe stata pure o rimossa o rafforzata a seconda che i metodi perfezionati di osservazione facessero o no scoprire il moto voluto.

Inoltre, alle *Tavole Prussiane,* quantunque più esatte delle *Alfonsine,* appena si attribuiva, e certamente non la possedevano, una esigua esattezza. Copernico avrebbe detto una volta a Rheticus che gli sarebbe assai piaciuto, se egli avesse potuto fare in modo che la sua teoria non avesse differito dall' osservazione che di 10′; ma realmente, di quando in quando, si osservavano differenze assai maggiori.

Il numero relativamente piccolo di osservazioni utili e la loro grossolanità resero assai difficile la realizzazione, o di trovare i dati numerici più soddisfacenti e necessari per il particolareggiato sviluppo di qualunque teoria, o di sottoporre la teoria propriamente al confronto delle posizioni calcolate ed osservate dei corpi celesti. Perciò divenne evidente, a più di un astronomo, che uno dei più urgenti bisogni della scienza consisteva in ciò,

che le osservazioni sarebbero state fatte, per quanto era possibile, su vasta scala e con la massima esattezza attendibile. Per far fronte a questo bisogno, due scuole di Astronomia di osservazione, di assai differente valore, sorsero e si svilupparono durante l'ultima metà del XVI secolo, ed allestirono un cumulo di materiale per l'uso degli astronomi della generazione avvenire. Fortunatamente lo stesso periodo si segnalò anche per il rapido progresso fatto in Algebra e in altri rami della Matematica. Delle tre grandi invenzioni, che avevano così enormemente diminuito il lavoro dei calcoli numerici, l'una, il così detto sistema di numerazione arabico (Cap. III, § 64) era già comune, le altre due (le frazioni decimali ed i logaritmi) furono suggerite nel XVI secolo e furono messe in atto in sul principio del XVII secolo.

97. La prima serie importante di osservazioni fatte dopo la morte di Regiomontano e di Walther (Cap. III, § 68) devesi alla energia del Langravio *Guglielmo IV* di Hesse (1532-1592). Egli fu segnalato, sin da ragazzo, come amantissimo dello studio, e si diceva che prendesse grande interessamento all'Astronomia, il quale interessamento nacque o fu eccitato in lui, quando aveva appena venti anni, da una copia del bello *Astronomicum Cæsarum*, di Appiano, che consisteva in modelli su tavolette, che egli cercò di imitare e sviluppare con lavori in metallo.

Egli entrò seriamente nell'argomento, e nel 1561 aveva costruito un Osservatorio a Cassel, che fu il primo che avesse una cupola girante, ora quasi universalmente adoperata. In esso egli fece estese osservazioni (principalmente delle stelle fisse) durante i sei anni successivi. Dopo la morte del padre fu costretto a dedicare gran parte della sua energia ai doveri del governo, onde diminuì il suo ardore per l'Astronomia. Alcuni anni dopo per altro (1575), dietro una breve visita fatta al giovane astronomo da-

nese, pieno d'ingegno e di entusiasmo, Tycho Brahe (§ 99), egli ricominciò il suo lavoro astronomico, e si procurò, subito dopo, l'aiuto di due valentissimi assistenti, *Cristiano Rothmann* (nel 1577) e *Giusto Bürgi* (nel 1579). Rothmann, di cui la vita è ben poco conosciuta, sembra sia stato matematico e astronomo teorico di gran valore, e fu quegli che apportò parecchi perfezionamenti ai metodi per risolvere diversi problemi astronomici. Egli dapprima fu copernicano, ma mostrava una certa indipendenza nel richiamare la sua attenzione sulla inutile complicazione, introdotta da Copernico, nello scomporre il movimento della Terra in *tre* moti, mentre, due sarebbero bastati (Cap. IV, § 79). La sua fede nel sistema fu per altro successivamente scossa dagli errori, che l'osservazione metteva in rilievo nelle *Tavole Prussiane*. Bürgi (1552-1632) fu, da principio, assunto dal Langravio come orologiaio; ma il suo notevole ingegno meccanico fu subito rivolto ai calcoli astronomici, e perciò parve possedesse ancora un'abilità non comune come matematico (1).

98. L'opera principale dell'Osservatorio di Cassel fu la formazione di un Catalogo di stelle. Le posizioni delle stelle furono confrontate con quelle del Sole, Venere o Giove, essendo adoprati come anelli di congiunzione; e ne deducevano le loro posizioni relativamente all'equatore ed al primo punto di Ariete (♈); fu regolarmente fatta la correzione per gli errori dovuti alla rifrazione della luce per l'atmosfera, come pure per la parallasse del Sole; ma il più notevole passo consistè nell'uso che vi fecero di un orologio per registrare l'istante delle osservazioni e per misurare il movimento della sfera celeste. La costru-

(1) Vi è un po' di dubbio che egli inventasse quello che sostanzialmente costituiva i logaritmi, indipendentemente da Napier; ma la caratteristica inabilità o ritrosia nel proclamare la sua scoperta, fece sì che l'invenzione morisse con lui.

zione degli orologi di sufficiente esattezza a tal uopo fu resa possibile dall'ingegno meccanico di Bürgi, e particolarmente dalla sua scoperta, che un orologio si poteva regolare con un pendolo; e sembra non abbia fatto alcun passo per rendere nota tale scoperta; e perciò venne fatta di nuovo prima che essa fosse generalmente riconosciuta (1). Dal 1585 centoventuno stelle erano state diligentemente osservate, ma un Catalogo più esteso, che doveva contenere più di mille stelle, non fu mai condotto a termine, e ciò si deve attribuire alla inattesa scomparsa di Rothmann nel 1590 (2) ed alla morte del Langravio, avvenuta due anni dopo.

99. L'opera dell'Osservatorio di Cassel era per altro adombrata da quella iniziata quasi alla stessa epoca da *Tycho* (Tyge) *Brahe*. Egli nacque nel 1546 a Kundstrup nella provincia danese di Scania (ora all'estremità settentrionale della Svezia), ed era figlio maggiore di un nobile, che fu poi governatore di Helsingborg Castle.

Fu adottato come figlio da uno zio, che lo allevò alla sua vita rustica e solo a 13 anni andò all'Università di Copenhagen, ove incominciò a studiare retorica e filosofia, a scopo di percorrere la carriera politica. Egli, per altro, s'interessò moltissimo di un piccolo eclisse di Sole, che vide nel 1560; e questo stimolo, congiunto a qualche inclinazione per l'arte astrologica di tirare gli oroscopi, lo condusse a dedicare gran parte dei rimanenti due anni, passati a Copenhagen, alla Matematica ed all'Astronomia. Nel 1562 egli andò alla Università di Lipsia, accompagnato, secondo l'uso del tempo, da un tutore, il quale

(1) Una simile scoperta fu invero fatta di nuovo ad un tempo da Galileo (Cap. VI, § 114) e da Huygens (Cap. VIII, § 157).

(2) Egli ottenne il permesso di assentarsi per restituire una visita a Tycho Brahe e non ritornò più a Cassel. Deve essere morto fra il 1599 ed il 1608.

sembra avesse fatto perseveranti, ma infruttuosi tentativi, per indurre il suo pupillo a dedicarsi allo studio della legge. Tycho, per altro, fu ora, come sempre, una persona difficile ad essere distratta dal suo proponimento; perciò proseguì con fermezza nella sua Astronomia. Nel 1563, egli fece la sua prima osservazione che si ricordi, di una congiunzione di Giove e Saturno, il cui tempo egli osservò che era stato predetto con un errore di un mese intiero dalle *Tavole Alfonsine* (Cap. III, § 66), mentre le *Tavole Perusiane* (§ 94) portavano un errore di parecchi giorni. Intanto a Lipsia faceva acquisto anche di alcuni grossolani istrumenti, e iniziava uno dei grandi perfezionamenti, che in seguito effettuò sistematicamente, col tentare di calcolare e di assegnare gli errori dei suoi istrumenti.

Nel 1565, Tycho ritornò a Copenhagen, probabilmente a causa della guerra con la Svezia, che proprio allora era incominciata, e vi stette circa un anno, durante il quale perdè lo zio. Continuò (1566) quindi i suoi viaggi, e visitò Wittemberg, Rostock, Basilea, Ingolstadt, Absburgo ed altri centri scientifici, facendo così la conoscenza di parecchi dei più insigni astronomi della Germania. Ad Absburgo incontrò i fratelli Hainzel, ricchi cittadini aventi qualche inclinazione per la scienza, poichè ad uno di essi egli disegnò e costruì un enorme *quadrante* (quarto di cerchio) con un raggio di circa 19 piedi, il cui orlo era graduato a soli minuti; qui incominciò pure la costruzione del suo gran globo celeste, che aveva cinque piedi di diametro, sul quale segnava ad una ad una le posizioni delle stelle, come egli a mano a mano le osservava.

Nel 1570, Tycho ritornò presso suo padre ad Helsinburgo, e subito dopo la morte di questo (1571), si recò per una lunga visita a Steen Bille da uno zio, che aveva delle velleità scientifiche. Durante questa visita, egli pare abbia dedicato gran parte del suo tempo allo studio della

chimica (o forse piuttosto dell'alchimia); così per qualche tempo abbandonò i suoi studi di Astronomia.

100. Il suo interessamento per l'Astronomia fortunatamente rinacque in lui per l'istantanea apparizione, nel novembre 1572, di una brillante e nuova stella nella costellazione di Cassiopea. Tycho fece su di essa un certo numero di osservazioni assai esatte; osservò i graduali cambiamenti nella sua lucentezza dalla sua prima apparizione, da quando essa rivaleggiava con Venere per il suo maggiore splendore, fino alla sua totale scomparsa sedici mesi dopo. Egli ripetutamente misurò la sua distanza angolare dalle principali stelle della Cassiopea, ed applicò diversi metodi per assicurarsi se essa avesse una parallasse percettibile (Cap. II, § 43, 49). Nessuna parallasse potè essere scoperta definitivamente, e ne dedusse che la stella doveva certamente essere assai più lontana della Luna; siccome inoltre essa non partecipava a nessuno dei movimenti planetari, egli ne trasse che dovesse appartenere alla regione delle stelle fisse. A noi moderni questo risultato può sembrare una cosa del tutto comune; ma gran parte degli astronomi di quell'epoca erano così saldamente legati alle dottrine di Aristotile, e cioè che i cieli in generale, e la regione delle stelle fisse in particolare, fossero incorruttibili ed immutabili, che le nuove stelle erano, come le comete, quasi universalmente assegnate alle più alte regioni della nostra propria atmosfera. Tycho scrisse una relazione sulla nuova stella, lavoro che i suoi amici lo indussero alla fine a pubblicare (1573), insieme ad alcune parti di un calendario che aveva preparato per quell'anno. La sua riluttanza a pubblicare sembra doversi attribuire in gran parte alla credenza che era cosa non lodevole per la dignità di un nobile danese di scrivere libri!

Il libro in questione (*De nova... stella*) assomiglia molto ai numerosi altri scritti, che si occupavano della nuova

stella, quantunque esso mostrasse che Tycho conservava le ordinarie credenze, cioè che le comete fossero nella nostra atmosfera e che i pianeti fossero portati in giro dalle sfere solide cristalline; due illusioni che il suo lavoro successivo operò molto a distruggere. Egli trattò pure, con qualche estensione, l'importanza astronomica della stella, ed i grandi avvenimenti, che essa pronosticava, cose su cui Keplero poi fece la ben saggia critica che “ se quella stella non avesse fatto nient'altro, almeno essa annunziò e produsse un grande astronomo. „

Nel 1574, Tycho fu richiesto di dare alcune lezioni di Astronomia nella Università di Copenhagen, la prima delle quali, che trattava ampiamente di astrologia, fu pubblicata nel 1610, dopo la sua morte. Quando queste lezioni furono terminate, egli ricominciò a viaggiare (1575). Dopo una breve sosta a Cassel (§ 97), durante la quale contrasse col Langravio un'amicizia, che durò tutta la vita, si recò a Francoforte per acquistare de' libri, quindi a Basilea (ove egli aveva seriamente pensato di stabilirsi), e poi a Venezia; poi ritornò ad Absburgo ed a Regensburgo, ove ottenne una copia del *Commentariolus* di Copernico (Cap. IV, § 731); e finalmente ritornò a casa sua per la via di Sualfeld e Wittemberg.

101. L'anno seguente (1576) fu il principio di un'epoca nuova per la carriera di Tycho. Il re di Danimarca, Federico II, che fu uno zelante mecenate tanto per le scienze quanto per le lettere, volle fornire a Tycho i mezzi sufficienti per poterlo mettere in grado di completare la sua opera astronomica nel modo migliore. Perciò egli diede a Tycho il permesso di occupare l'isoletta di Hveen nel Sound (ora appartenente alla Svezia), gli promise il danaro per costruirvi una casa ed un Osservatorio, ed aggiunse alla rendita, proveniente dalle entrate dell'isola, un annuo pagamento di circa 2500 lire. Tycho si recò a visitare l'isola

nel maggio, e subito incominciò il lavoro di costruzione; egli aveva già iniziate le osservazioni regolari nella sua nuova casa prima della fine dell'anno.

I fabbricati erano importanti tanto per la loro magnificenza, quanto per la loro utilità scientifica. Tycho non dimenticò mai che egli era un nobile danese, come pure un astronomo, e fabbricò l'osservatorio in un modo addicentesi alla sua condizione (1). Il suo fabbricato principale, chiamato Uraniburgo (fig. 51) (Il Castello dei Cieli), era in mezzo ad un gran recinto quadrato, come un giardino, i cui angoli guardavano il nord, l'est, il sud e l'ovest, e conteneva parecchi Osservatorî, una biblioteca ed un laboratorio, ed inoltre delle camere di abitazione. In seguito, allorchè il numero degli allievi e degli assistenti, che vi accorrevano, era aumentato, Tycho fece costruire un secondo fabbricato (1584) Stjerneburgo (Castello della Stella), che era notevole per avere degli Osservatorî sotterranei. La comodità di potere eseguire tutto il lavoro necessario nei suoi propri locali lo indusse inoltre a fondarvi delle officine, ove si fabbricavano quasi tutti i suoi strumenti, e poi anche una tipografia ed una cartiera. Tanto ad Uraniburgo, quanto a Stjerneburgo, non solo le stanze, ma anche gli strumenti, che vi erano continuamente costruiti, venivano con esattezza dipinti o talvolta ornati.

102. Le spese dello stabilimento dovevano essere state enormi, specialmente pel tenore munifico di vita di Tycho, e probabilmente perchè egli non poneva la minima attenzione nel fare economia. La sua rendita proveniva da diverse fonti, e, di quando in quando, essa fluttuava, poichè il re non gli faceva semplicemente un pagamento annuo fisso, ma aggiungeva anche temporanee concessioni di ter-

(1) Egli non dimenticò pure di provvedere una delle più necessarie parti di un castello medioevale, la prigione!

reni o di danaro. Fra gli altri benefizî, egli ricevè, nel 1579, uno dei canonicati della cattedrale di Roskilde, i cui assegni erano stati praticamente secolarizzati dalla Riforma.

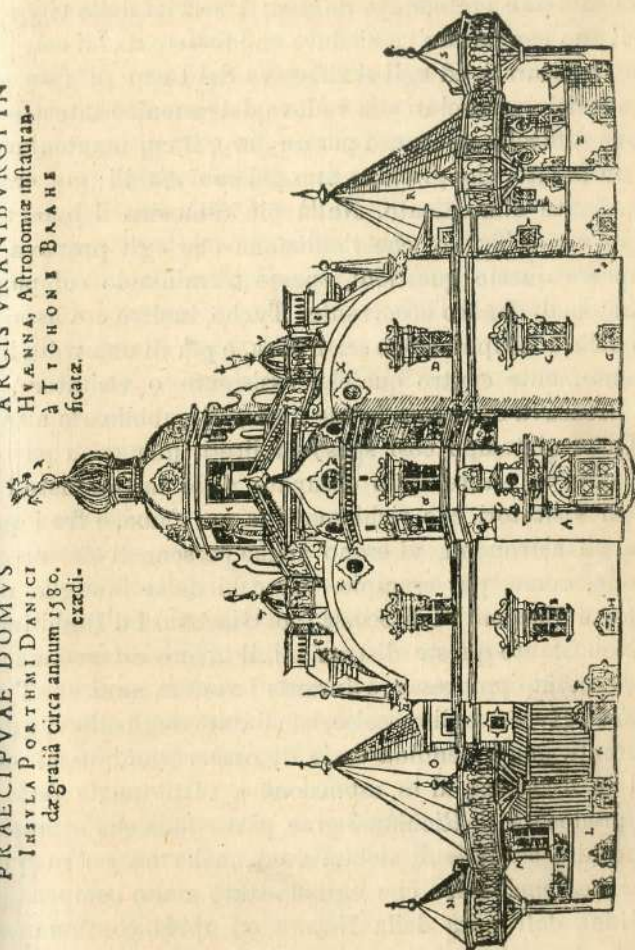



Fig. 51. — *Da una collezione di lettere pubblicate da Tycho.*

Disgraziatamente, gran parte della sua proprietà consisteva in tenute, che erano vincolate da corrispondenti obblighi; e siccome egli accoppiava alla irritabilità dell'uomo di genio

l'alterigia della nobiltà medioevale, tutto ciò diede per risultato continue questioni. Subito dopo il suo arrivo ad Hveen, i suoi fittaiuoli si lagnarono del lavoro che egli ingiustamente pretendeva da essi; i servizi della chiesetta, che il suo canonicato richiedeva che fossero da lui celebrati, erano trascurati, ed egli si rifiutava del tutto di fare certi pagamenti riconosciuti alla vedova del canonico antecedente. Nuove difficoltà nacquero per un faro, il cui mantenimento era un debito, che gravava uno dei suoi stabili; ma era regolarmente dimenticato. Nulla più dimostra il buon tatto del re verso Tycho, che l'afflizione che egli provava nel comporre queste questioni, spesso terminando col pagare la somma di danaro occorrente. Tycho inoltre era assai geloso della sua riputazione scientifica, e più di una volta inveì violentemente contro qualche assistente o visitatore, che egli accusava di rubare le sue idee e di pubblicarle altrove.

Oltre al tempo così speso in litigi, una gran parte di esso doveva essere stato occupato nello intrattenere i numerosi visitatori, che richiamava la sua fama, e fra i quali, oltre gli astronomi, vi erano anche persone di elevata condizione, come, per esempio, parecchi della famiglia reale danese e Giacomo VI di Scozia (poi Giacomo I d'Inghilterra).

Nonostante queste distrazioni, il lavoro astronomico faceva costante progresso; e durante i ventun anni che Tycho passò ad Hveen, egli raccolse, con l'aiuto degli allievi e degli assistenti, una splendida serie di osservazioni, assai superiori in esattezza ed in estensione a tutte quelle fatte dai suoi predecessori. Richiamò gran parte della sua attenzione anche allo studio sull'alchimia ed anche un po' su quella della medicina. Pare che egli sia stato molto compenetrato dell'idea dell'unità della Natura ed abbia continuamente cercato le analogie o la reale connessione fra i diversi soggetti che egli studiava.

103. Nel 1577, comparve una brillante cometa, che Tycho osservò con la sua abituale esattezza; e quantunque egli non

avesse allora un completo corredo di strumenti, tuttavia le sue osservazioni erano abbastanza esatte per persuaderlo che la cometa era per lo meno tre volte più lontana della Luna, e così egli rifiutò la credenza popolare, che egli stesso aveva sostenuto alcuni anni prima (§ 100), cioè che le comete fossero generate nella nostra atmosfera. Le sue osservazioni lo condussero anche ad ammettere che la cometa ruotava intorno al Sole, ad una distanza da esso maggiore di quella di Venere; risultato che urtava seriamente con la comune dottrina delle sfere solide cristalline. Egli ebbe nuove occasioni di osservare le comete nel 1580, 1582, 1585, 1590 e 1596; ed uno dei suoi allievi fece pure delle osservazioni di una cometa, veduta nel 1593. Nessuna di queste comete richiamò tanta generale attenzione quanto quella del 1577; ma le osservazioni di Tycho, come era naturale, si perfezionarono a poco a poco in esattezza.

104. I preziosi risultati, ottenuti mediante la nuova stella del 1572 e dalle comete, suggerirono la convenienza di intraprendere la pubblicazione di un completo trattato di Astronomia, che comprendesse queste ed altre scoperte. Secondo il piano primitivo, esso doveva constare di tre volumi preliminari, dedicati rispettivamente alla nuova stella, alla cometa del 1577, ed alle recenti comete, mentre il trattato principale doveva consistere di parecchi altri volumi, che dovevano trattare le teorie del Sole, della Luna e dei pianeti. Di questo magnifico piano ben poco fu relativamente attuato. Il primo volume, detto l'*Astronomiæ Instauratæ Progymnasmata*, o *Introduzione alla Nuova Astronomia*, fu appena incominciato fino dal 1588; e, quantunque in gran parte pubblicato nel 1592, non fu mai del tutto finito durante la vita di Tycho, e fu effettivamente pubblicato da Keplero nel 1602. Una questione infatti trasse dietro l'altra in modo tale, che Tycho si sentì incapace di dare una soddisfacente relazione della stella del 1572 senza trattare di un certo numero di soggetti preli-

minari, tali, come, ad esempio, delle posizioni delle stelle fisse, della precessione, e del movimento annuale del Sole, ciascuno dei quali richiedeva una elaborata investigazione. Il secondo volume, che trattava della cometa del 1577, chiamato *De Mundi ætherei recentioribus Phœnomenis Liber secundus* (*Secondo libro intorno alle recenti apparizioni nel mondo celeste*), fu terminato assai prima del primo volume; e parecchie copie furono inviate agli amici ed ai corrispondenti nel 1588, quantunque esso non fosse regolarmente pubblicato e vendibile fino al 1603. Il terzo volume non fu mai scritto, benchè fosse stato per esso raccolto un po' di materiale; ed il trattato principale non pare sia stato mai incominciato.

105. Il libro sulla cometa del 1577 è di speciale importanza, poichè contiene una relazione sul sistema del Mondo di Tycho, che costituiva un anello di congiunzione fra quello di Tolomeo e quello di Copernico. Tycho era ben esperto astronomo da non effettuare molte delle complicazioni che il sistema Copernicano aveva introdotte; ma fu incapace di rispondere a due serie obbiezioni; egli riguardava ogni movimento della “ pesante e lenta Terra ” come contrario ai “ principî fisici ”; e presentava come obbiezione la grande distanza delle stelle, che il sistema Copernicano richiedeva, perchè così sarebbe lasciato vuoto uno spazio tra esse ed i pianeti, spazio che egli riguardava come superfluo (1). Le dif-

(1) Sarebbe interessante conoscere qual uso egli avrebbe assegnato al presumibilmente tranquillo e più vasto spazio che si trova al di là delle stelle. Oggidì l'Astronomia stellare lascia ritenere che, mentre il nostro Sole è una stella di seconda grandezza appartenente ad una costellazione stellare, che costituisce il cielo che noi vediamo, al di là di questa noi possiamo scorgere ed analizzare con lo spettroscopio gli ammassi globulari e un buon numero di nebulose, ne' primi de' quali la segmentazione in istelle è avvenuta, nelle seconde poi la materia può ancora trovarsi al primitivo stato che diremo caotico. (*N. del Tr.*).

ficoltà bibliche (1) erano da lui pure tenute in qualche conto. Perciò egli escogitò (1583) un nuovo sistema, secondo il quale i cinque pianeti giravano intorno al Sole (*C*, nella fig. 52), mentre il Sole gira annualmente intorno

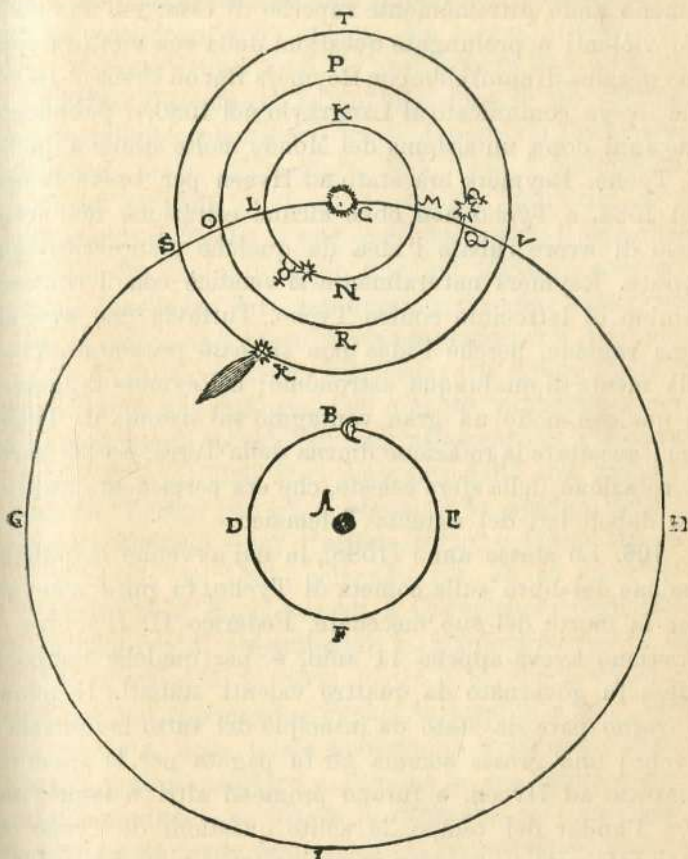



Fig. 52. — *Il sistema del mondo secondo Tycho. Dal suo libro sulla cometa del 1577.*

(1) Tycho fece a questo riguardo la *deliziosa* osservazione che Mosè doveva essere stato un esperto astronomo, perchè egli attribuisce alla Luna «la minore luce», nonostante il fatto che i diametri apparenti del Sole e della Luna siano quasi perfettamente eguali.

alla Terra (*A*), e l'intiera sfera celeste compieva pure una rivoluzione diurna intorno alla Terra. Il sistema non fu mai condotto a termine particolareggiatamente, e, come molti aggiustamenti, incontrò poco appoggio; Tycho nondimeno andò estremamente superbo di esso; ed una delle più violenti e prolungate questioni della sua vita (durante una dozzina di anni) ebbe con Reymers Bär od Ursus (?-1600), che aveva comunicato al Langravio nel 1586, e pubblicato due anni dopo, un sistema del Mondo molto simile a quello di Tycho. Reymers era stato ad Hveen per breve tempo nel 1584, e Tycho non ebbe alcuna esitazione nell'accusarlo di avere rubato l'idea da qualche manoscritto qui veduto. Reymers naturalmente si vendicò con il contraccambio di latrocinio contro Tycho. Tuttavia non avvi alcuna ragione, perchè l'idea non si fosse presentata da sè alla mente di qualunque astronomo; e Reymers raggiunse in qualche modo un gran vantaggio sul sistema di Tycho con l'accettare la rotazione diurna della Terra, e così scartò la rotazione della sfera celeste, che era certamente uno dei più deboli lati del sistema Tolemaico.

106. Lo stesso anno (1588), in cui avvenne la pubblicazione del libro sulla cometa di Tycho, fu pure notevole per la morte del suo mecenate, Federico II. Il nuovo re Cristiano aveva appena 11 anni, e, per qualche tempo, il paese fu governato da quattro valenti statisti. Il nuovo Governo pare sia stato da principio del tutto favorevole a Tycho; una grossa somma gli fu pagata per le spese incontrate ad Hveen, e furono promessi altri assegni; ma, con l'andar del tempo, le solite questioni di Tycho coi suoi fittaiuoli e con altri incominciarono a produrre il loro effetto. Nel 1594, egli perdè uno dei suoi principali sostenitori alla Corte, il cancelliere Kaas, ed il suo successore, come pure due o tre altri importanti ufficiali di Corte, non gli furono molto favorevoli, quantunque le storie, che hanno parlato ordinariamente di violenti inimicizie perso-

nali, pare non abbiano alcun fondamento. Verso il principio del 1591, Tycho aveva accennato ad un corrispondente che egli non poteva rimanere permanentemente in Danimarca, e nel 1594 incominciò ad aprire una corrispondenza coi rappresentanti dell'imperatore Rodolfo II, che era un protettore delle scienze. Ma la sua attività scientifica durante questi anni fu così grande che altra mai; e nel 1596 egli completò la pubblicazione di un volume di corrispondenze scientifiche fra il Langravio Rothmann e lui stesso, assai interessante. Nel 1596, l'esaltazione al trono del giovane re fu subito seguita dal ritiro di uno degli stabili di Tycho, e nell'anno successivo il pagamento annuale, che era stato fatto fino dal 1596, fu sospeso. È difficile biasimare il re per queste economie; egli evidentemente non aveva tanto interessamento per l'Astronomia quanto il padre, e perciò riguardava la grave spesa per Hveen come una stranezza; ed è anche probabile che egli fosse seriamente seccato del maltrattamento di Tycho verso i fittaiuoli, e di altri fatti derivanti dalla sua turbolenta condotta. Tycho, per altro, riguardò la perdita della sua pensione annuale come l'ultimo colpo, e lasciò Hveen in sul principio del 1597, portando con sè ciò che poteva.

Alcuni mesi dopo, passati a Copenhagen, egli fece il passo decisivo di abbandonare la Danimarca per la Germania, in segno di protesta contro il re, che lo aveva privato del suo canonicato. Tycho, in seguito a ciò, scrisse una protesta, nella quale metteva in evidenza l'impossibilità di potere condurre a termine la sua opera senza le proprie rendite, e si offriva di ritornare, se i suoi servigi fossero giustamente apprezzati. Il re, per altro, fu questa volta seriamente annoiato, e la sua risposta consistette in una enumerazione delle diverse cause di querela contro Tycho, che erano sorte gli ultimi anni. Tuttavia Tycho fece parecchi altri tentativi per mezzo di diversi amici per ricuperare il regale favore; ma tutto finì con una rottura completa.

107. Tycho passò l'inverno 1597-98 con un amico vicino ad Amburgo, ed intanto qui pubblicava, col titolo di *Astronomiæ Instauratæ Mechanica,* una descrizione dei suoi strumenti, unitamente ad una breve autobiografia e ad un interessante relazione delle sue scoperte principali. Circa lo stesso tempo egli fece circolare delle copie manoscritte di un Catalogo di 1000 stelle fisse, di cui solamente 777 erano state osservate; mentre le rimanenti erano state aggiunte affrettatamente per farne il numero tradizionale. Il Catalogo e la *Mechanica* furono entrambe considerate generalmente come la prova del suo gran valore astronomico, e furono inviate a diverse persone influenti. Furono intavolate trattative tanto con l'imperatore, quanto col principe di Orange, e dopo un altro anno, passato in diverse parti della Germania, Tycho accettò definitivamente un invito dell'imperatore e giunse a Praga nel giugno 1599.

108. Fu subito stabilito, di comune accordo, che egli avrebbe abitato il castello di Benatek, qualche ventina di miglia da Praga, ove egli perciò si stabilì con la sua famiglia e coi più piccoli strumenti verso la fine del 1599. Egli subito iniziò le osservazioni, inviò uno dei suoi figli ad Hveen per prendere gli istrumenti più grandi, ed incominciò ad occuparsi anche degli aiutanti. Egli si assicurò uno dei più abili dei suoi antichi assistenti, e per buona fortuna fu pure capace di attirare a sè un uomo assai grande, *Giovanni Keplero,* che per l'abile uso che fece dei materiali raccolti da Tycho non gli è debitore che in una minima parte della sua grande riputazione. Keplero, la vita e l'opera del quale saranno trattati ampiamente nel capitolo VII, aveva recentemente pubblicato la sua prima opera importante, il *Mysterium Cosmographicum* (§ 136), che aveva richiamato, fra gli altri, l'attenzione di Tycho, mentre intanto quegli cominciava a trovarsi a disagio a Gratz, in Stiria, a causa delle imminenti dispute religiose. Dopo qualche esitazione, egli raggiunse Tycho a

Benatek al principio del 1600. Egli si mise subito a studiare intorno a Marte, per le tavole planetarie che Tycho stava allora preparando, e così acquistò una particolare familiarità con le osservazioni di questo pianeta, che Tycho aveva fatte. Le relazioni dei due astronomi non erano del tutto cordiali, Keplero essendo allora, come sempre, amante del denaro, e le condizioni dissestate del paese mettevano Tycho nella difficoltà di ottenere il pagamento dall'imperatore. Perciò Keplero abbandonò subito Benatek e ritornò a Praga, dove si stabilì, dopo una breve visita a Gratz, definitivamente. Tycho pure partì da qui verso la fine del 1600; e allora essi lavorarono insieme concordemente per i pochi anni che ancora Tycho visse. Quantunque non fosse vecchio, tuttavia vi furono alcuni indizi che la sua salute era malferma, e verso la fine del 1601, egli fu repentinamente colto da una malattia, che, disgraziatamente, dopo alcuni giorni, lo condusse alla tomba (24 novembre).

È tratto caratteristico della sua devozione alla grande operosità della sua vita che nel delirio, il quale precedette la sua morte, esclamasse molte volte di essere felice, perchè poteva provare di non avere speso la sua vita inutilmente (*Ne frustra vixisse videar*).

109. Parte per le difficoltà sorte fra Keplero ed uno della famiglia di Tycho, parte per i crescenti sconvolgimenti, fu fatto un uso ben limitato degli istrumenti di Tycho dopo la sua morte, e molti di essi andarono perduti durante la guerra civile di Boemia. Keplero potè utilizzare tutte le osservazioni di lui, ma esse non sono mai state pubblicate, salvo che in una forma imperfetta.

110. Se si volesse fare una storia in certo modo completa dei servigi resi da Tycho all' Astronomia, sarebbe necessario trattare ampiamente e con particolari tecnici i metodi di osservazione, e ciò sarebbe qui fuori di posto. Invece vale la pena di tentare qualche accenno generale dei

suoi tratti caratteristici come osservatore, prima di occuparci delle scoperte speciali.

Tycho realizzò, meglio di qualunque dei suoi predecessori, l'importanza di ottenere le osservazioni che erano non solo esatte, quanto era possibile, ma pur fatte spesso in modo da conservare una traccia quasi continua delle posizioni e dei moti dei corpi celesti studiati; laddove l'uso prevalente (come è illustrato, per esempio, da Copernico) era solo di fare le osservazioni con carattere intermittente, e quando si verificava un evento astronomico di speciale importanza, come un eclisse o una congiunzione, o per supplire qualche dato speciale, richiesto da un punto della teoria. Mentre Copernico, come è già stato osservato (Capitolo IV, § 73), solo usò in tutto alcune dozzine di osservazioni nel suo libro, Tycho — per dare un esempio — osservò il Sole *giornalmente* per molti anni, e deve, per ciò, aver fatto migliaia di osservazioni di questo astro, oltre alle molte migliaia che egli fece degli altri corpi celesti. È vero che gli Arabi ebbero qualche idea di fare le osservazioni continuamente (cfr. Cap. III, § 74); ma essi possedevano troppo poco ingegno speculativo ed originalità per essere capaci di fare molto uso delle loro osservazioni, alcune delle quali passarono nelle mani degli astronomi d'Europa. Regiomontano (Cap. III, § 68), se fosse vissuto, poteva probabilmente avere prevenuto di molto Tycho; ma la sua breve vita fu di per sè troppo occupata nello studio e nella interpretazione dell'Astronomia greca, per potersi dare seriamente agli altri rami del soggetto. Il Langravio ed il suo stato maggiore, che erano in costante comunicazione con Tycho, lavorarono con lo stesso indirizzo, benchè in complesso con minor risultato. Diversamente dagli Arabi, Tycho era, per altro, pienamente compenetrato dall'idea che le osservazioni fossero solo un mezzo per raggiungere un fine, e che le semplici osservazioni senza un'ipotesi o teoria per collegarle od interpretarle fossero di poco vantaggio.

La effettiva esattezza ottenuta da Tycho nelle sue osservazioni naturalmente variava assai, secondo la natura della osservazione, la cura postavi ed il periodo della sua carriera, in cui era fatta. Le posizioni che egli assegnava alle nove stelle, che erano fondamentali nel suo catalogo, differiscono dalle loro posizioni, come deducesi dalle migliori osservazioni moderne, di angoli che sono quasi sempre minori di 1′, ed in un sol caso di 2′ (questo errore essendo principalmente dovuto alla rifrazione [Cap. II, § 46], la cui conoscenza da parte di Tycho era necessariamente imperfetta). Altre posizioni delle stelle furono presumibilmente meno esatte; ma non si sarà lungi dal vero, se noi supponiamo che, nella maggior parte dei casi, gli errori delle osservazioni di Tycho non eccedevano 1′ o 2′. Keplero, in un famoso passo, parla di un errore come impossibile di 8′ in una osservazione planetaria fatta da Tycho. Questo grande progresso nell'esattezza può solo essere attribuito, in parte, alla grandezza ed all'esatta costruzione degli strumenti adoperati, proprietà sulle quali gli Arabi e gli altri osservatori avevano richiamato i loro sforzi. Tycho certamente usò buoni strumenti; ma aumentò moltissimo la loro efficacia, in parte con le recenti invenzioni di meccanica, come con l'uso dei “ mirini, „ apposta costruiti e di un particolar metodo di graduazione (1), ed in parte con l'uso di istrumenti capaci solo di movimenti limitati, e quindi di molta maggiore stabilità degli strumenti, che erano atti a potere essere diretti in qualunque plaga del cielo. Un'altra importantissima idea era quella di ammettere sistematicamente, per quanto era possibile, le inevitabili imperfezioni meccaniche ancora degli strumenti meglio costruiti; come per altre permanenti cause di errore. Si conosceva da tempo, per esempio, che la rifrazione della luce attraverso l'atmosfera aveva l'effetto di

(1) Con le trasversali.

innalzare alquanto le posizioni apparenti delle stelle nel cielo. Tycho fece una serie di osservazioni per determinare il valore di questo spostamento per le diverse parti del cielo; quindi costruì una tavola delle rifrazioni (è vero assai imperfetta), e nelle successive osservazioni regolarmente tenne conto degli effetti della rifrazione. Inoltre era noto che le osservazioni del Sole e dei pianeti erano soggette ad essere disturbate dall'effetto della parallasse (Cap. II, § 43, 49), benchè il valore della sua correzione fosse incerto. Nei casi, ove era richiesta una particolare esattezza, Tycho osservava in conseguenza il corpo in questione per lo meno due volte, scegliendo le posizioni, in cui la parallasse si sapeva che produceva quasi gli effetti opposti; e così, col cambiare le osservazioni, otteneva un risultato quasi immune da questa particolare sorgente di errore. Egli fu pure uno dei primi a realizzare l'importante metodo di ripetere la stessa osservazione molte volte, sotto condizioni diverse, affinchè le diverse sorgenti accidentali di errore nelle osservazioni diverse si compensassero fra loro, per quanto è possibile.

111. Quasi ogni quantità astronomica di importanza era determinata di nuovo e generalmente corretta da lui. Il movimento annuale dell'apogeo del Sole rispetto a ♈, per esempio, che Copernico aveva calcolato di 24″, Tycho fissò in 45″; il valore odierno è 61″; egli determinò la durata dell'anno con un errore minore di 1^s, e costruì delle tavole del movimento del Sole, che davano la sua posizione con un errore minore di 1′, mentre le tavole precedenti erano qualche volta errate di 15′ o 20′. Per una sfortunata omissione, egli non fece alcuna ricerca nella distanza del Sole, ma accettò l'inesattissimo valore, che era stato di mano in mano trasmesso fino allora, senza variazione sostanziale da astronomo ad astronomo dall'epoca di Ipparco (Cap. II, § 41).

Nella teoria della Luna, Tycho fece parecchie scoperte

importanti. Egli trovò che le irregolarità nel suo movimento non erano rappresentate dall'equazione del centro e dell'evezione (Cap. II, §§ 39, 48); ma vi era una nuova irregolarità, che scompariva all'opposizione e alla congiunzione come alle quadrature; ma nelle posizioni intermedie della Luna poteva essere di 40′. Questa irregolarità, conosciuta col nome di *variazione*, fu, come è stato già detto (Cap. III, § 60), assai probabilmente scoperta da Abul Wafa, benchè fosse andata del tutto in oblio. Nel seguito delle sue ricerche, al più tardi durante la sua visita a Wittemberg nel 1588-89, Tycho trovò che era necessario introdurre una nuova piccola disuguaglianza col nome di *equazione annuale,* che dipendeva dalla posizione della Terra, nella sua orbita, intorno al Sole; ciò per altro non approfondì mai. Inoltre potè accertare che l'inclinazione dell'orbita della Luna sull'eclittica non era, come era stato pensato, fissa, ma oscillava regolarmente, e che il movimento dei nodi della Luna (Cap. II, § 40) era pure variabile.

112. Si è già accennato al catalogo delle stelle. La sua costruzione condusse allo studio della precessione, il cui valore fu determinato con considerevole esattezza; la stessa investigazione condusse Tycho a respingere la supposta irregolarità nella precessione che, sotto il nome di trepidazione (Cap. III, § 58), aveva messo in imbarazzo l'Astronomia per parecchi secoli; e, da quest'epoca in poi, rapidamente perdè la sua popolarità.

I pianeti furono sempre un soggetto favorito di studio per Tycho; ma, benchè egli facesse una magnifica serie di osservazioni, di gran valore pe' suoi successori, tuttavia egli morì prima che potesse formulare qualche soddisfacente teoria dei movimenti planetari. Egli, per altro, facilmente scoprì che questi movimenti deviavano considerevolmente da quelli assegnati da una qualunque delle tavole planetarie, e pervenne perfino a scoprire qualche regolarità in queste deviazioni.

CAPITOLO VI.

Galileo Galilei.

> Nella scienza siamo tutti discepoli di Galilei.
>
> TROUESSART.

> Bacone indicò a distanza la strada della vera filosofia: Galileo la mostrò agli altri e in pari tempo fece in essa notevoli progressi.
>
> DAVID HUME.

113. Alla generazione che venne dopo Tycho appartennero, fra tutti gli astronomi, due dei più celebri, Galileo e Keplero. Quantunque essi sieno quasi contemporanei, essendo Galileo nato sette anni prima di Keplero ed avendogli sopravvissuto dodici anni, i loro metodi e i loro contributi alla scienza astronomica sono di carattere così differente e la influenza dell'uno sull'altro di così poca importanza, che conviene fare un'eccezione dallo stretto ordine cronologico; conviene cioè dedicare questo capitolo esclusivamente a Galileo e lasciare Keplero per ultimo.

Galileo nacque in Pisa nel 1564, al tempo del granduca di Toscana, il giorno della morte di Michelangelo e nell'anno in cui nacque Shakespeare. Suo padre Vincenzo apparteneva ad una buona famiglia fiorentina decaduta; e si segnalò per la sua grande valentìa nella musica e nelle matematiche. L'ingegno di Galileo si rivelò per tempo, e quantunque da prima i suoi volessero che egli dovesse gua-

dagnarsi da vivere esercitando il commercio, Vincenzo fu saggio abbastanza da presto avvedersi che la valentía e le inclinazioni del figlio lo rendevano più adatto per una carriera professionale; e quindi, nel 1581, lo mandò a studiare medicina all'Università di Pisa. Quivi le sue qualità non comuni lo resero tosto celebre, e fu conosciuto particolarmente per la sua ripugnanza ad accettare senza discussione i principî dogmatici dei suoi maestri, che non fossero basati sull'evidenza diretta, ma sull'autorità dei grandi scrittori del passato. Questa preziosa qualità che egli ebbe per tutta la vita, accoppiata alla sua abilità nel ragionamento, gli procacciò il disgusto di alcuni suoi professori e il soprannome di “ Contenditore „ fra i suoi compagni di scuola.

114. Nel 1582 la sua acuta osservazione lo condusse alla sua prima scoperta. Accadendogli un giorno, nella cattedrale di Pisa, di guardare le oscillazioni di una lampada che pendeva dalla vôlta, egli osservò che mentre il movimento andava gradatamente annullandosi e l'ampiezza di ogni oscillazione si faceva minore, il tempo occupato da ogni oscillazione rimaneva sensibilmente il medesimo, risultato che verificò ancora con maggiore precisione paragonandolo col battito del suo polso. L'ulteriore riflessione e l'esperienza gli dimostrarono che questa proprietà non era speciale per le lampade del Duomo, ma che un peso qualunque attaccato ad una cordicella (o qualunque altra forma di pendolo) oscillava in un tempo, che dipendeva soltanto dalla lunghezza della cordicella e da altre proprietà del pendolo stesso, e non da qualsiasi apprezzabile considerazione del modo con cui era messo in movimento oppure dall'ampiezza di ogni oscillazione. Inventò quindi uno strumento, le cui oscillazioni, finchè continuavano, potessero essere usate come misura del tempo, strumento che in pratica fu trovato utilissimo dai medici per misurare l'andamento del polso del paziente.

115. Ben presto si vide chiaramente che Galileo non aveva nessuna disposizione speciale per la medicina, studio da lui scelto principalmente perchè dava l'adito ad una professione ragionevolmente lucrosa; egli era inclinato, per vero, alle matematiche e alle applicazioni della scienza sperimentale. Aveva ricevuto poco o nessun formale insegnamento di matematiche prima del suo secondo anno di Università, nel corso del quale gli accadde di sentire una lezione sulla geometria di Euclide, data alla Corte del granduca; ne rimase così affascinato, che continuò ad attendere al corso, dapprima segretamente, in seguito apertamente; prese tale interessamento allo studio di questa materia e sentì tale attitudine per la medesima, che ottenne dal padre il consenso di abbandonare la medicina per darsi allo studio delle matematiche.

Nel 1585, nulladimeno, la miseria lo costrinse a lasciare l'Università prima di compiere il corso regolare degli studî e di conseguire un grado, e passò i quattro anni seguenti a casa sua, dove continuò a leggere ed a meditare su soggetti scientifici. Nel 1586, scrisse il suo primo saggio scientifico che si conosca (1), il quale circolò dapprima manoscritto e fu stampato soltanto durante il secolo XIX.

116. Nel 1589 egli fu nominato alla cattedra di professore di Matematica (con l'Astronomia annessavi) a Pisa. Un tenue stipendio, equivalente a circa sei lire la settimana, era annesso a quel posto, ma rimediava a questa deficienza largamente col dare lezioni private. Nella sua nuova posizione, Galileo aveva campo libero per la sua notevole potenza di esposizione; ma, lungi dall'essere contento nel dare lezioni sulle linee tradizionali, pure condusse a termine una serie di investigazioni scientifiche, impor-

---

(1) Sopra uno strumento che inventò, chiamato la bilancia idrostatica.

tanti di per sè stesse e dal lato della novità riguardo al metodo in esse adoperato.

Converrà discutere con maggiore ampiezza alla fine di questo Capitolo i contributi che Galileo portò alla meccanica e al metodo scientifico, e qui parlare puramente e brevemente delle sue prime esperienze sulla caduta dei corpi, che furono fatte in quel tempo. Alcuni di tali esperimenti furono eseguiti col far cadere varî corpi dalla sommità della torre pendente di Pisa, e altri col far ruzzolare delle palle in iscanalature disposte a differenti inclinazioni.

Oggidì che gli esperimenti scientifici sono così comuni, ci è difficile apprezzarne la novità e l'importanza alla fine del XVI secolo. La tradizione medioevale di portare a compimento l'investigazione scientifica in gran parte con l'interpretazione dei testi di Aristotile, di Galeno e di altri grandi scrittori del passato e con la deduzione dei risultati da principî generali, che non possono esser trovati in questi scrittori senza far qualche recente appello all'osservazione, non fu quasi mai turbata a Pisa, come in altro luogo. In particolare si asseriva comunemente, sull'autorità di Aristotile, che, essendo il peso di un grave la causa della sua caduta, un corpo più pesante doveva cadere più presto di un corpo più leggero e proporzionatamente al suo maggior peso. Forse è dubbio se qualcuno prima di Galileo avesse idee abbastanza chiare sull'argomento da poter dare una risposta decisiva per questa quistione, se cioè un peso di dieci libbre percorresse nella caduta in un minuto secondo molto più spazio di un peso di una libbra; avrebbe detto solamente, se fosse così, che percorrerebbe uno spazio dieci volte maggiore, od altrimenti che si richiederebbe un tempo dieci volte maggiore per percorrere lo stesso spazio. Queste idee cioè, di tentare realmente l'esperimento, di variare le sue condizioni, come di rimuovere, per quanto fosse possibile, le cause accidentali di errore, di accrescere in qualche modo il tempo della ca-

duta tanto da poterlo misurare con molta esattezza, messe in pratica da Galileo, rimasero interamente estranee alle abitudini del pensiero scientifico prevalente e furono invero considerate da molti colleghi di Galileo come cose da non desiderarsi affatto, se non come innovazioni pericolose. Alcuni semplici esperimenti bastarono per provare la completa falsità di ciò che si credeva allora su questo argomento, e per istabilire che, in generale, corpi di differenti pesi percorrevano quasi lo stesso spazio nello stesso tempo, non potendo ragionevolmente attribuire la differenza se non che alla resistenza dell'aria.

Questi ed altri risultati furono esposti in un trattato che, come la maggior parte dei primi scritti di Galileo, circolò soltanto manoscritto, essendo il contenuto di esso pubblicato sul gran trattato della Meccanica, che egli diede alle stampe soltanto verso la fine della sua vita (§ 133).

Queste innovazioni, accompagnate dal poco rispetto che egli aveva l'abitudine di tributare a coloro che pensavano diversamente da lui, resero evidentemente Galileo tutt'altro che benviso ai colleghi di Pisa; e, o per questo motivo o per le sventure domestiche derivanti dalla morte del padre suo (1591), egli rinunciò alla sua cattedra di professore molto prima che spirasse il termine della durata della sua carica; e ritornò a Firenze in casa di sua madre.

117. Dopo alcuni mesi passati a Firenze fu nominato, dietro raccomandazioni di un suo amico veneziano, alla cattedra di professore di Matematiche a Padova, che apparteneva allora alla Repubblica Veneta (1592). La nomina fu dapprima per un periodo di sei anni e lo stipendio molto maggiore di quello che aveva a Pisa. Durante i primi anni della carriera di Galileo a Padova, la sua attività, pare, sia stata molto grande e molto svariata; oltre alle sue lezioni regolari ad un uditorio che rapidamente cresceva, scrisse trattati, per la maggior parte in

quel tempo non pubblicati, sull'Astronomia, sulla Meccanica e sulle fortificazioni, ed inventò diversi strumenti scientifici.

Non esiste nessun ricordo del tempo preciso in cui per la prima volta egli adottò le vedute astronomiche di Copernico; ma egli stesso stabilì che nel 1597 le aveva adottate alcuni anni prima e raccolti argomenti in loro appoggio.

Nell'anno seguente egli fu riconfermato nella sua cattedra di Matematiche per altri sei anni con aumento di stipendio, riconferma che fu fatta poi per più di sei anni e finalmente a vita, con aumento di stipendio ogni volta. Il primo contributo di Galileo alla scoperta astronomica avvenne nel 1604, quando apparve improvvisamente una stella nella costellazione del Serpentario, e fu da lui dimostrato che era comunque sia più distante dei pianeti; risultato che conferma quelli di Tycho (Cap. V, § 100), cioè che i cambiamenti hanno luogo anche al di là dei pianeti e non sono in nessun conto ristretti — come comunemente si credeva — alla Terra e alle sue immediate adiacenze.

118. In questo tempo Galileo divenne celebre per tutta l'Italia, non solo come valente professore, ma anche come scienziato dotto e originale. Le scoperte che prima gli acquistarono una fama europea sono, peraltro, la serie di osservazioni sul telescopio, fatte nel 1609 e negli anni successivi.

Ruggero Bacone (Cap. III, § 67) pretese di avere escogitato una combinazione di lenti, le quali facevano vedere gli oggetti distanti come se fossero vicini; una invenzione simile fu fatta probabilmente dall'inglese Leonardo Digges (che morì verso l'anno 1571) e fu descritta pure dall'italiano Porta nel 1558. Non è accertato se un tale strumento fosse fatto da qualcuno dei tre; la scoperta, in ogni modo, non richiamò nessuna attenzione e fu di nuovo perduta. La scoperta effettiva del telescopio fu fatta in

Olanda nel 1608 da Hans Lippersheim (?-1619), occhialaio di Middleburg e quasi contemporaneamente da due altri olandesi, ma non è possibile asserire se indipendentemente o no. In sul principio dell'anno seguente, la notizia dell'invenzione giunse a Galileo, il quale, benchè senza possedere alcuna particolareggiata informazione intorno alla struttura dello strumento, riuscì, dopo alcuni sperimenti, a disporre due lenti, una convessa ed una concava, in modo tale da aumentare l'apparente grandezza di un oggetto osservato; il suo strumento faceva gli oggetti tre volte più vicini, per conseguenza tre volte più grandi (in larghezza ed altezza) e potè subito costruire telescopi, i quali, nello stesso modo, ingrandivano trenta volte. Che lo strumento nuovo potesse essere adoperato per osservare gli oggetti celesti come i terrestri, era un'idea assai ovvia, la quale fu quasi subito messa in pratica dal matematico inglese Tommaso Harriot (1560-1621), da Simone Marius (1570-1624) in Germania e da Galileo. L'onore, *quasi invariabilmente attribuito a Galileo,* di avere, per il primo, usato il telescopio nelle osservazioni astronomiche, benchè le prime di esse fossero, con tutta probabilità state eseguite alquanto più tardi di quelle di Harriot e Marius, è giustificato largamente dal modo persistente con cui egli esaminava oggetto per oggetto, ogni volta che vi era qualche ragionevole speranza di risultati da conseguire, dall'energia ed acutezza con cui egli teneva dietro ad ogni particolare, dall'indipendenza di opinione con cui egli interpretava le sue osservazioni e soprattutto dalla subita penetrazione con cui realizzava la loro importanza astronomica (1).

119. La sua prima serie di scoperte sui telescopi fu prima pubblicata nel 1610 in un libretto dal titolo *Sidereus*

(1) Al doge Leonardo Donato nel 1610 Galileo, dall'alto del campanile di S. Marco, ruinato nel luglio del 1902, mostrò le fasi di Venere col nuovo suo tubo d'Olanda. (*N. del Tr.*).

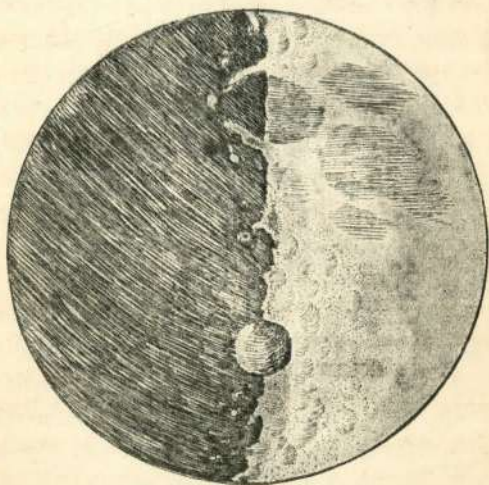
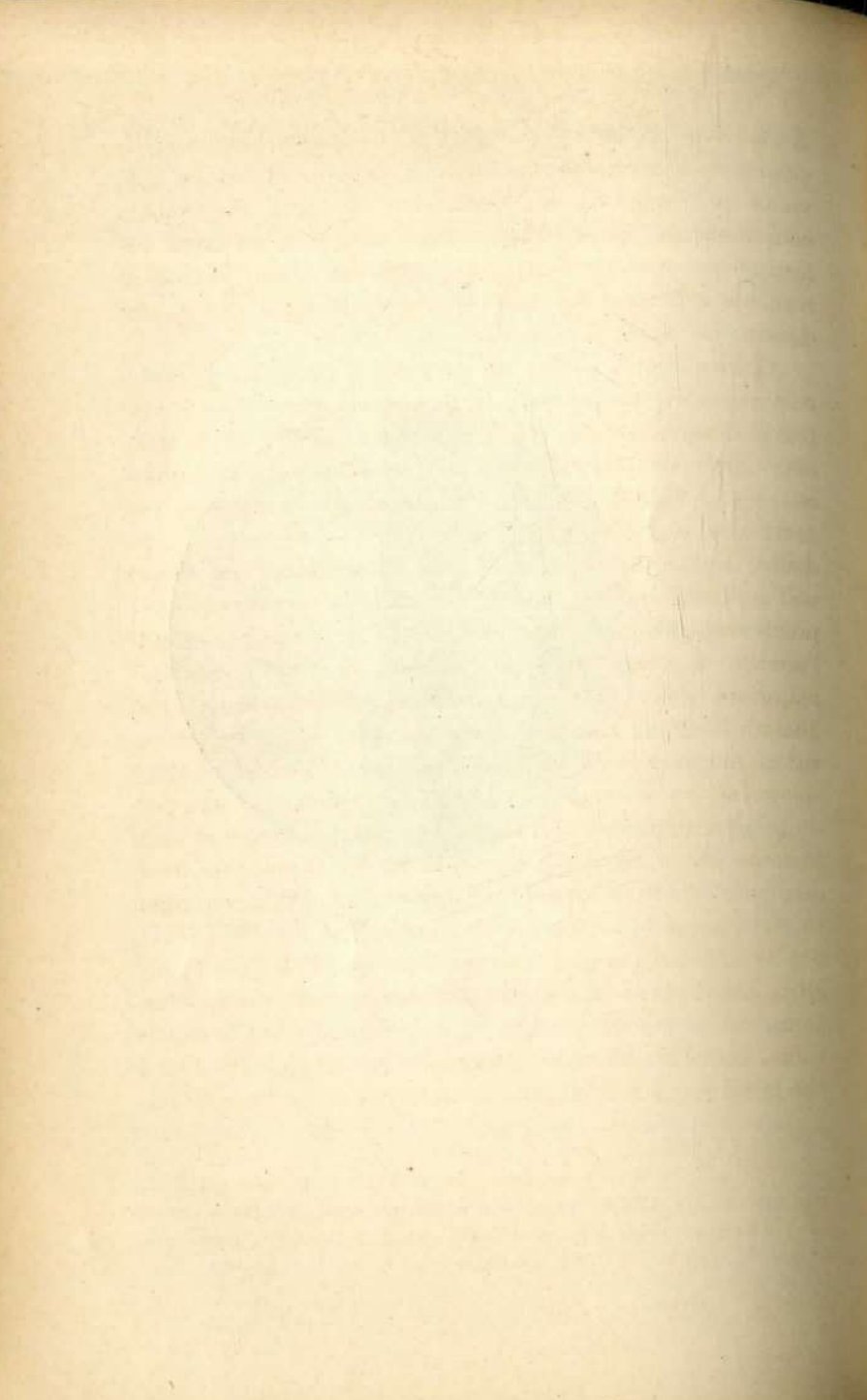



Fig. 53. — *Un disegno di Galilei della Luna.*
(Dal *Sidereus Nuncius*).

Nuncius od il *Messaggero sidereo.* Le sue prime osservazioni gettarono subito molta luce sulla natura del nostro vicino più prossimo nel cielo, cioè la Luna. Si credeva comunemente che la Luna, come tutti gli altri corpi celesti, fosse perfettamente liscia e sferica, e che le comuni macchie oscure che apparivano alla sua superficie dipendessero da cause ignote (1).

Galileo scoprì subito un numero di macchie più piccole e scoprì che molte di esse erano ombre delle montagne lunari prodotte dal Sole; poscia identificò le macchie chiare che si vedevano all'orlo delle parti illuminate ed oscure della Luna, come sommità di montagne, che precisamente ricevevano la luce del Sole nascente o cadente, mentre la circostante area lunare trovavasi ancora nell'oscurità. Inoltre, con la sua abilità caratteristica e precisione, mediante osservazioni di tale natura, calcolò l'altezza di alcune delle più cospicue montagne lunari, la maggiore delle quali fu calcolata dell'altezza di circa quattro miglia, risultato che concorda esattamente coi valori moderni della maggiore altezza sulla Luna. Egli spiegò le grandi macchie oscure (erroneamente) come prodotte probabilmente dall'acqua, benchè egli avesse evidentemente meno fiducia nella esattezza della spiegazione di qualcuno dei suoi immediati successori scientifici, dai quali fu dato a queste macchie il nome di *mari* (Cap. VIII, § 153). Avvertì pure la mancanza di nubi. Mettendo per altro da banda i particolari, i risultati delle sue osservazioni, realmente di qualche valore, furono questi: che la Luna, sotto molti importanti aspetti, è simile alla Terra, che la credenza tradizionale nella forma perfettamente sfe-

---

(1) Una bella idea delle ipotesi medioevali a questo riguardo può essere ricavata da uno dei più tediosi canti del gran poema di DANTE (*Paradiso*, II,) nel quale il poeta e Beatrice danno due differenti spiegazioni delle macchie della Luna.

rica (liscia) della Luna doveva essere abbandonata, e che anzi l'accettata dottrina della sottile distinzione, fatta fra cose celesti e terrestri, era dimostrata ingiustificata; la importanza di ciò, in relazione all'ipotesi di Copernico, che la Terra, invece di essere unica, fosse uno dei sei pianeti che girano intorno al Sole, non ha bisogno di commenti.

Uno dei numerosi oppositori scientifici di Galileo (1) tentò di spiegare l'apparente contraddizione fra la vecchia teoria e le nuove osservazioni con l'ingegnoso suggerimento che le apparenti valli della Luna fossero in realtà riempite di materia cristallina invisibile, dimodochè la Luna era infatti perfettamente sferica. A ciò Galileo rispondeva che l'idea era così eccellente, che egli desiderava estenderne le sue applicazioni, e quindi sosteneva che la Luna avesse sulle sue montagne di questa stessa sostanza invisibile almeno dieci volte di più di quanto egli aveva osservato.

120. Il telescopio rivelò pure l'esistenza di un gran numero di stelle, troppo deboli per essere viste ad occhio nudo; Galileo vide, per esempio, trentasei stelle nelle Pleiadi, che ad occhio ordinario sono soltanto sei. Porzioni della Via Lattea e varî tratti nebulosi di luce furono pure scoperti, e consistevano di moltitudini di deboli stelle insieme aggruppate; nella costellazione *Praesepe* (nel Cancro), per esempio, contò quaranta stelle.

121. Una scoperta ancor più importante, annunciata nel *Messaggero Sidereo*, è quella delle lune o satelliti di Giove. Il 7 gennaio 1610, Galileo diresse il suo telescopio su Giove, e osservò tre deboli stelle, le quali richiamarono la sua attenzione rispetto alla loro vicinanza al pianeta e alla loro disposizione quasi in linea retta con esso. Guardò ancora il giorno seguente, ed osservò che esse avevano cambiato la loro

---

(1) LODOVICO DELLE COLOMBE, in un trattatello: *Contro il moto della Terra*, che è ristampato nella recente edizione nazionale delle opere di Galileo, vol. III.

posizione relativamente a Giove, ma che il cambiamento non appariva nel modo come doveva risultare dal movimento proprio di Giove se i nuovi corpi fossero state stelle fisse. Due notti dopo, potè confermare che i nuovi corpi non erano stelle fisse, ma corpi mobili che accompagnavano Giove nei suoi movimenti. Un quarto corpo fu osservato il 13 gennaio, e i movimenti di tutti e quattro furono tosto riconosciuti da Galileo quali movimenti di rivoluzione intorno a Giove come centro. Con caratteristica assiduità, studiò i movimenti dei nuovi corpi, notte per notte, e dall'epoca della pubblicazione del suo libro aveva già misurato con grande esattezza i loro periodi di rivoluzione intorno a Giove, che oscillavano fra circa 42 ore e 17 giorni; e continuò a studiare i loro movimenti per anni.

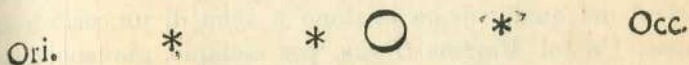



Fig. 54. — *Giove e i suoi satelliti come furono visti nel 7 gennaio 1610.*

(Dal *Sidereus Nuncius*).

I nuovi corpi furono dapprima chiamati dal loro scopritore " Pianeti Medicei, „ in onore del suo protettore, Cosimo dei Medici, granduca di Toscana; ma è evidente che i corpi giranti intorno ad un pianeta, come i pianeti stessi ruotano intorno al Sole, formassero una nuova categoria di corpi distinti dai pianeti conosciuti; onde il nome di *satellite,* suggerito da Keplero come applicabile ai nuovi corpi, nello stesso modo che alla Luna, è stato generalmente accettato.

La scoperta dei satelliti di Giove dimostrò la falsità della vecchia dottrina che la Terra soltanto fosse centro di movimento; essa tendeva, inoltre, a discreditare seriamente la infallibilità di Aristotile e di Tolomeo, i quali non conoscevano affatto l'esistenza di tali corpi; ed anche coloro, che avevano difficoltà a credere che Venere e Mercurio

potessero girare intorno ad un corpo, che apparentemente si moveva, il Sole, non potevano non essere scossi nei loro dubbii, allorquando fosse dimostrato che i nuovi satelliti eseguissero evidentemente un movimento di questa precisa forma; e — la più importante conseguenza di tutte — la difficoltà meccanica derivante dai concetti Copernicani, che la Luna girante intorno alla Terra doveva passare davanti e di dietro d'un corpo mobile, era dimostrata non insuperabile dal momento che i satelliti di Giove seguivano, rapporto a Giove, ciò che la Luna compieva rapporto alla Terra.

Le stesse ragioni, che resero scientificamente importanti le scoperte telescopiche di Galileo, furono pure oggetto di obbiezioni da parte dei sostenitori delle vecchie teorie, ed esse furono quindi attaccate in un numero di libercoli, alcuni dei quali ancora esistono e sono di un certo interesse. Un tal *Martino Horky*, per esempio, giovane tedesco, che aveva studiato sotto Keplero, pubblicò un opuscolo, nel quale, dopo aver provato per propria soddisfazione che i satelliti di Giove non esistevano, discusse, con qualche estensione, che cosa essi fossero, a che cosa somigliassero e perchè essi esistessero. Un altro scrittore inferì gravemente che, siccome il corpo umano avea sette aperture — cioè gli occhi, le orecchie, le narici e la bocca — così, per analogia, vi dovevano essere sette pianeti (compresi il Sole e la Luna) e non di più. Nulladimeno fu ottenuta la conferma da altri osservatori, e il pendolo incominciò anche ad oscillare nella direzione opposta, essendo stato annunciato da altri osservatori un numero di nuovi satelliti di Giove. Per altro fra questi non ve n'era nessuno di vero, e soltanto i quattro di Galileo rimasero i satelliti conosciuti di Giove fino a pochi anni fa (Cap. XIII, § 295).

122. La fama acquistata da Galileo con la pubblicazione del *Messaggero* lo mise in grado di condurre ad un risultato soddisfacente le negoziazioni che aveva avanzate da

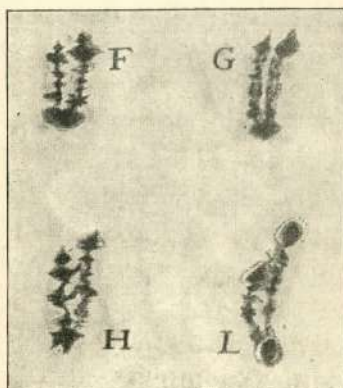
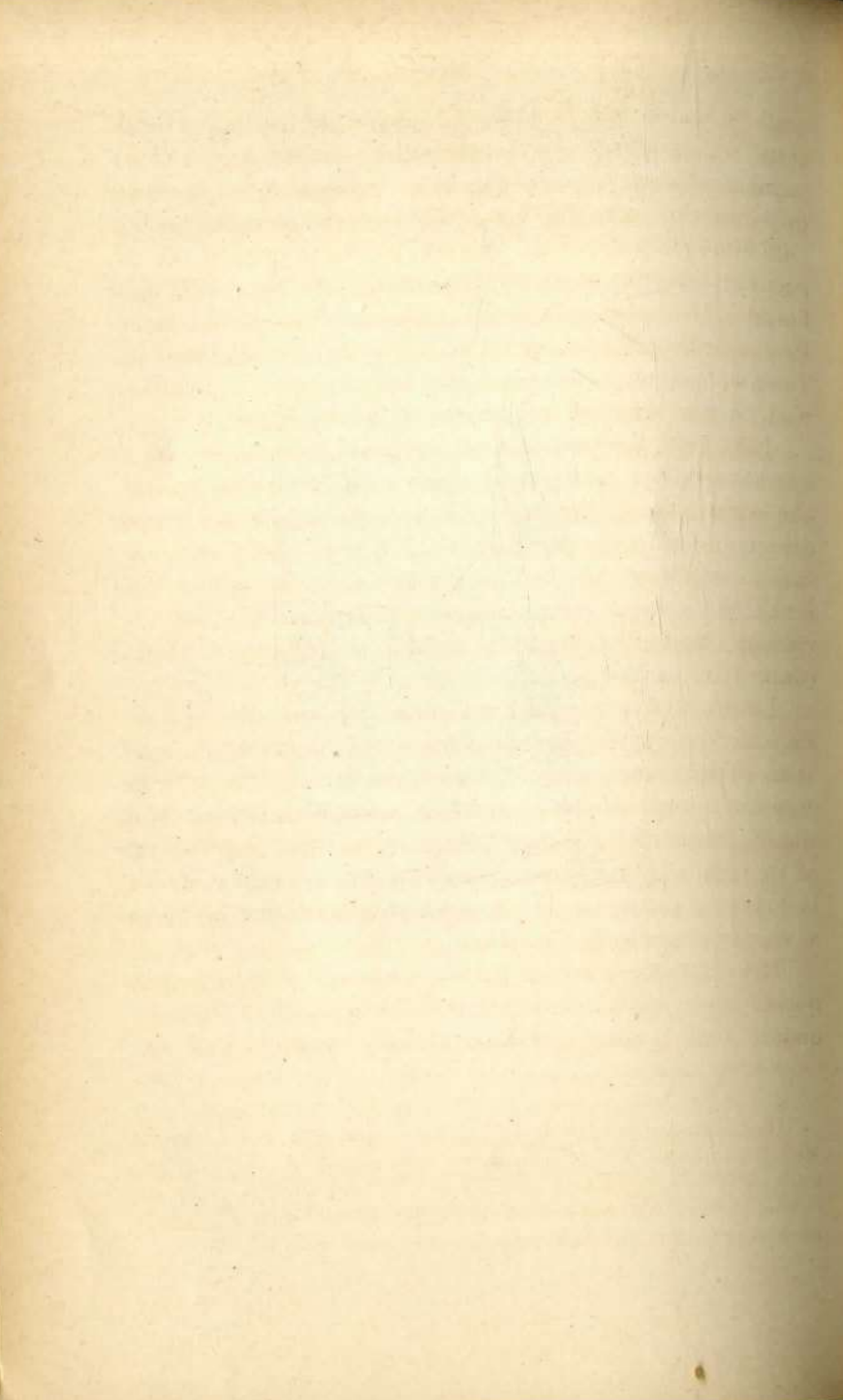



Fig. 55. — *Macchie del Sole.*

(Dalle « Macchie solari di Galilei ».

qualche tempo con la Corte di Toscana. Quantunque fosse stato trattato bene dai Veneziani, il peso del regolare insegnamento gli riusciva alquanto increscioso, e desiderò di consacrare maggior tempo alle ricerche e ai suoi lavori. Difficilmente poteva egli sperare dalla Repubblica una sinecura come quella che a lui abbisognava, e quindi nell'estate del 1610 accettò un incarico come professore a Pisa e come primo matematico e filosofo del granduca di Toscana con un bello stipendio, senza obblighi determinati nè per l'uno nè per l'altro di questi uffici.

123. Poco tempo prima che lasciasse Padova, rivolse il suo telescopio a Saturno ed osservò che il pianeta pareva che consistesse di tre parti, come è dimostrato nel primo disegno della figura 67 (Cap. VIII, § 154). Nelle altre occasioni non potè più vedere il corpo centrale, e le apparizioni di Saturno continuarono a presentare confuse variazioni, finchè il mistero fu svelato da Huygens nel 1655 (Cap. VIII, § 154).

La prima scoperta fatta a Firenze (ottobre 1610) fu questa, che Venere, il quale ad occhio nudo sembrava variasse assai di splendore e non di forma, era in realtà talvolta in crescenza come la Luna nuova, e passava attraverso fasi simili a quelle della Luna. Questo dimostrava che Venere, al pari della Luna, era un corpo opaco, il quale riceveva la luce dal Sole; cosicchè la sua somiglianza con la Terra si rendeva perciò più evidente.

124. La scoperta di macchie nere sul Sole completò questa serie di scoperte relative al telescopio. Secondo quanto egli asserisce, Galileo le vide verso la fine del-

(1) In una lettera in data 4 maggio 1612, egli dice di averle viste per 18 mesi; nel *Dialogo sui due massimi sistemi* (III, pag. 313, traduzione di Salisbury), dice che le vide quando insegnava ancora a Padova, cioè presumibilmente nel settembre 1610, quando partì per Firenze in quel mese.

l'anno 1610 (1), ma apparentemente non prestò loro in quel momento attenzione particolare; e quantunque le mostrasse come oggetto di curiosità a vari amici, egli non annunciò formalmente la scoperta fino all'anno 1612, nel qual tempo la medesima scoperta fu fatta indipendentemente da Harriot (§ 118) in Inghilterra, da Giovanni Fabricius (1587-1615?) in Olanda, e dal gesuita Cristoforo Scheiner (1575-1650) in Germania; e fu pubblicata da Fabricius (nel giugno 1611). Realmente le macchie oscure erano state viste ad occhio nudo molto tempo prima, ma era stato supposto generalmente che fossero causate dal passaggio di Mercurio davanti al Sole. La presenza sul Sole di tali macchie nere, la " mutabilità " inerente ai loro cambiamenti di forma e di posizione, e la loro formazione e susseguente scomparsa, intieramente ripugnavano ai sostenitori delle vecchie vedute, in quanto che i corpi celesti erano perfetti ed immutabili. Il fatto notato da quasi tutti gli osservatori, che le stelle parevano muoversi attraverso la faccia del Sole dalla parte orientale verso la parte occidentale (cioè bruscamente da sinistra a destra, come fu visto a mezzogiorno da un osservatore nelle nostre latitudini), diede a prima vista appoggio all' ipotesi, avvalorata fra gli altri da Scheiner, che le macchie potessero essere realmente piccoli pianeti giranti intorno al Sole e che apparissero come oggetti oscuri, quando passavano fra il Sole e l'osservatore. In tre lettere al suo amico Welser, primo mercante di Augsburg, scritte nel 1612 e pubblicate nell'anno seguente (1), Galileo, mentre dava una relazione particolareggiata delle sue osservazioni, faceva ancora una confutazione schiacciante di questa ipotesi; provava che le macchie debbono trovarsi o sopra od attaccate alla superficie del Sole, e che i movimenti osservati erano esattamente come dovevano

(1) *Storia e dimostrazioni intorno alle macchie solari.*

risultare, se le macchie fossero attaccate al Sole, ed esso girasse intorno ad un asse nel periodo di circa un mese; ed inoltre, mentre avrebbe voluto rinunziare a qualunque desiderio di parlare in forma ipotetica, richiamava l'attenzione su parecchi di quei punti di rassomiglianza con le nubi.

Uno dei suoi argomenti contro le vedute di Scheiner è così semplice e nello stesso tempo così convincente, che può valer la pena di riprodurlo come saggio del metodo di Galileo, quantunque la controversia stessa sia affatto spenta.

Galileo osservò, cioè, che mentre occorrevano ad una macchia quattordici giorni per passare da un lato all'altro del Sole, e questo tempo sarebbe stato eguale se la mac-

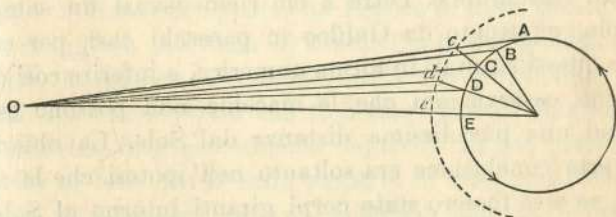



Fig. 56. — *Prova di Galilei che le macchie del Sole non sono pianeti.*

chia passava a traverso il centro del disco del Sole, o lungo un cammino più breve a qualche distanza da esso, il suo genere di movimento era in nessun modo uniforme, ma che il movimento della macchia appariva sempre molto più lento, quando si trovava vicino all'orlo del Sole, che quando si trovava vicino al centro. Egli spiegò questo fatto come l'effetto di un accorciamento, la qualcosa accadeva, soltanto, se la macchia era vicina al Sole.

Se, per esempio, nella figura, il circolo rappresenta una sezione del Sole con un piano passante per l'osservatore in *O*, ed *A, B, C, D, E* sono i punti presi ad uguali distanze lungo la superficie del Sole, in modo da rappresentare le posizioni di un oggetto sul Sole ad eguali intervalli

di tempo, nella supposizione che il Sole si muova uniformemente, allora il moto apparente da *A* in *B*, come è visto dall'osservatore in *O*, è misurato dall'angolo *AOB*, ed è evidentemente minore di quello da *D* in *E*, misurato dall'angolo *DOE*; conseguentemente un oggetto attaccato al Sole deve apparire muoversi più lentamente da *A* in *B*, cioè vicino all'orlo del Sole che da *D* in *E* vicino al centro. D'altra parte, se la macchia fosse un corpo girante intorno al Sole a qualche distanza da esso, per esempio, lungo il cerchio punteggiato *c d e*, allora se *c d e* fossero presi ad eguali distanze uno dall'altro, il moto apparente *c a d*, misurato ancora dall'angolo *c o d*, è minore di quello da *d* ad *e*, misurato dall'angolo *d o e*, soltanto di una quantità affatto trascurabile. Oltre a ciò richiedevasi un semplice calcolo, effettuato da Galileo in parecchi casi, per esprimere questi risultati in forma numerica, e inferire così dalle presenti osservazioni che le macchie non possono essere che ad una piccolissima distanza dal Sole. La obiezione a questa conclusione era soltanto nell'ipotesi che le macchie, se esse fossero state corpi giranti intorno al Sole, si sarebbero mosse irregolarmente, in modo tale che avrebbero avuto sempre maggior velocità quando accadeva loro di trovarsi fra il centro del Sole e la Terra, qualunque potesse essere la posizione della Terra in quel tempo; procedimento per il quale da una parte non si poteva dare nessuna spiegazione e dall'altra era interamente in disaccordo con l'uniformità, alla quale l'Astronomia medioevale era così fermamente attaccata.

La rotazione del Sole intorno ad un asse, così stabilita, poteva evidentemente essere ritenuta come argomento in sostegno del fatto, che la Terra pure avesse tale movimento; ma per quanto io sappia, nè Galileo, nè nessun altro contemporaneo ne osservò l'analogia. Fra gli altri fatti, che si riferiscono alle macchie osservate da Galileo, vi era quello della maggior oscurità delle parti centrali,

mostrando alcuni dei suoi disegni (vedi fig. 55), come lo mostrano i più moderni, perfettamente una marcatissima linea di divisione fra la parte centrale (o *ombra*) e la meno oscura frangia circostante (o *penombra*); egli osservò che le macchie apparivano frequentemente in gruppi, che i componenti di un gruppo cambiavano le loro posizioni l'uno rispetto all'altro, che le macchie cambiavano ciascuna la loro grandezza e forma in modo considerevole durante il tempo della loro esistenza e che le macchie del Sole erano più copiose da ogni banda dell'equatore, che corrisponde grossolanamente ai tropici sul nostro proprio globo, e non erano vedute molto al di là di questi limiti.

Osservazioni simili furono fatte da altri studiosi col telescopio, e a Scheiner appartiene l'onore di aver fissato con molta maggiore esattezza di Galileo la posizione dell'asse del Sole, l'equatore, e il tempo della sua rotazione.

125. La controversia con Scheiner rispetto alla natura delle macchie disgraziatamente degenerò in lite personale riguardo ai loro diritti sulla scoperta di esse, controversia che fece di Scheiner il suo più acerrimo nemico, e probabilmente contribuì non poco ad aumentare l'ostilità con cui Galileo fu d'allora in poi combattuto dai gesuiti. La ferma ed esemplare difesa di Galileo delle nuove idee scientifiche, il poco rispetto che egli dimostrava per la stabilita e tradizionale autorità ed i pungenti sarcasmi con cui aveva l'abitudine di salutare i suoi oppositori, gli procacciarono un gran numero di nemici nei circoli scientifici e filosofici, particolarmente nella maggior parte di coloro che parlavano in nome di Aristotile; benchè, siccome Galileo non si stancava mai di ricordarli, i loro metodi di pensare e le loro conclusioni sarebbero stati con tutta probabilità respinti dal filosofo greco, se ancor fosse vissuto.

Devesi probabilmente in parte alla sua profonda conoscenza delle cose la crescente ostilità alle sue vedute, tanto nei circoli ecclesiastici quanto in quelli scientifici, ed in parte

ad una breve visita fatta a Roma nel 1611, ove fu ricevuto onorevolmente e fu trattato con grande amicizia da parecchi cardinali e da altre persone altolocate.

Sfortunatamente cominciò ad essere trascinato in una controversia rispetto alla validità dei soggetti scientifici di osservazione e di ragionamento da una parte, e rispetto all'autorità della Chiesa e della Bibbia dall'altra, controversia, la quale cominciò ad accendersi in questa epoca, e quantunque il suo campo di battaglia fosse trasportato da una scienza all'altra, durò, quasi senza interruzione, fino ai tempi moderni. Nel 1611 fu pubblicato un trattatello, nel quale si sosteneva che i satelliti di Giove non erano fondati sull'autorità della Sacra Scrittura. Nel 1612, Galileo consultò il cardinale Conti riguardo all'insegnamento astronomico della Bibbia, ed ottenne da lui di poter pensare che la Bibbia, come appariva, fosse contraria tanto alla dottrina aristotelica dell'immobilità dei cieli, quanto alla dottrina di Copernico del movimento della Terra. Un libriccino di Galileo sui corpi galleggianti, pubblicato nel 1612, ridestò l'opposizione; ma, d'altra parte, il cardinale Barberini (che, in seguito, quale Urbano VIII, ebbe una parte principale nella sua persecuzione) lo ringraziò specialmente per l'omaggio di una copia del libro sulle macchie del Sole, nel quale Galileo, per la prima volta, proclamò chiaramente in pubblico la sua adesione al sistema di Copernico. Nello stesso anno (1613) il suo amico e seguace, padre Castelli, fu nominato professore di matematica a Pisa, con l'ingiunzione di non impartire alcuna lezione sul movimento della Terra. Dopo alcuni mesi, Castelli fu trascinato in una discussione sulle relazioni della Bibbia con l'Astronomia in casa della granduchessa, e citò Galileo in appoggio delle sue vedute; ciò bastò perchè Galileo esprimesse le sue opinioni in una lunga lettera a Castelli, la quale circolò manoscritta a corte. A questa un

predicatore domenicano, Caccini, rispose alcuni mesi dopo con un violento sermone sul testo: " Voi, Galilei, perchè vi fermate a guardare in cielo? „ (1) E, nel 1615, Galileo fu segretamente denunciato all'Inquisizione per la vivace lettera scritta al Castelli e per altro. Nello stesso anno, ampliò la lettera al Castelli in un trattato più elaborato in forma di *lettera alla granduchessa Cristina,* la quale lettera circolò manoscritta, e non fu stampata fino al 1636. La discussione suscitata dai passi della Bibbia (per esempio, rispetto al miracolo di Giosuè) riguardo ai sistemi Tolemaico e Copernicano, ha perduto ora, in gran parte, ogni interesse; può, nullameno, essere degno di osservazione il fatto che, nella quistione più generale, Galileo cita, con approvazione, il detto del cardinale Baronio, che " l'intenzione dello Spirito Santo è di insegnare, non come vanno i cieli, ma come si va in cielo „ (2); e il seguente passo dà una buona idea del tenore generale del suo ragionamento:

" .... mi par che, nelle dispute de' problemi naturali, non si dovrebbe cominciare dall'autorità de' luoghi delle Scritture, ma dalle sensate esperienze e dalle dimostrazioni necessarie: perchè procedendo di pari dal Verbo divino la Scrittura Sacra e la Natura, quella come dettatura dello Spirito Santo, o questa come osservantissima esecutrice degli ordini di Dio, ed essendo di più convenuto nelle Scritture (per accomodarsi all'intendimento dell'universale) dir molte cose diverse, in aspetto e quanto al nudo significato delle parole, dal vero assoluto; ma all'incontro, essendo la Natura inesorabile ed immutabile, e mai non trascendente i termini dalle leggi impostile, come quella che nulla cura

---

(1) Lo scherzo non è così brutto nella sua forma latina: *Viri Galilaei, quid statis adspicientes in coelum?*

(2) *Spiritui Sancto mentem fuisse nos docere, quomodo ad Cœlum eatur, non autem, quomodo Cœlum gradiatur.*

che le sue recondite ragioni e modi d'operare sieno esposti alla capacità degli uomini, pare, che quello, che gli effetti naturali o la pensata esperienza ci pone innanzi agli occhi, o le necessarie dimostrazioni ci concludono, non debba in conto alcuno esser revocato in dubbio, non che condannato, per luoghi della Scrittura, che avessero nelle parole diverso sembiante; poichè non ogni detto della Scrittura è legato ad obblighi così severi, come ogni effetto di natura... „ (1).

126. Intanto i suoi nemici divenivano così attivi, che Galileo pensò bene di andare a Roma verso la fine del 1615, per difendere la sua causa. Al principio dell'anno prossimo, un corpo di teologi, conosciuto col nome di " Qualificatori del Santo Ufficio „ (Inquisizione) che era stato istruito per esaminare certe dottrine di Copernico, riferì:

" Che la dottrina, che faceva il Sole centro del Mondo ed immobile, era falsa e assurda, eretica formalmente e contraria alla Scrittura, mentre quella che non faceva la Terra centro del Mondo e che si movesse ed avesse inoltre un moto diurno, era filosoficamente falsa ed assurda, e teologicamente per lo meno erronea „ (2).

---

(1) Vedi *Lettera V: « A Madama Cristina, Granduchessa Madre »*. Lettera intorno al sistema Copernicano. (*N. del Tr.*).

(2) Aggiungiamo anche questo passo, tratto da una lettera, che Galileo scrive in risposta a Francesco Rinuccini (1641), residente per il Granduca a Venezia: « La falsità del sistema copernicano non deve essere in conto alcuno messa in dubbio, e massime da noi cattolici, avendo la irrefragabile autorità delle Scritture sacre, interpretate dai maestri sommi in Teologia, il concorde assenso dei quali ci rende certi della stabilità della Terra posta nel centro, e della mobilità del Sole intorno ad essa. Le congetture poi per le quali il Copernico ed altri suoi seguaci hanno profferito il contrario, si levano tutte con quel saldissimo argomento preso dalla onnipotenza d'Iddio, la quale potendo fare in diversi, anzi in infiniti modi, quello che alla nostra opinione e osservazione par fatto in un tal particolare, non dobbiamo volere abbreviare la mano di Dio e tenacemente sostenere quello in cui possiamo essere

In conseguenza di questa relazione, fu deciso di censurare Galileo; ed il papa, conformemente a ciò, ordinò al cardinale Bellarmino di "citare Galileo in giudizio ed ammonirlo, affinchè abbandonasse la detta opinione;" cosa che il cardinale fece (1).

---

ingannati. E come che io stimi insufficienti le osservazioni e le conietture copernicane, altrettanto reputo più fallaci ed erronee quelle di Tolomeo, di Aristotile e de' loro seguaci; mentrechè, senza uscire de' termini dei discorsi umani, si può assai chiaramente scoprire la non concludenza di quelli. E poichè V. S. Illma dice restar perplessa e disturbata dall'argomento preso dal vedersi continuamente la metà del cielo sopra l'orizzonte, onde si possa con Tolomeo concludere, la Terra nel centro della sfera stellata, e non da essa lontana quanto è il semidiametro dell'orbe magno, risponda all'autore che è vero che non si vede la metà del cielo, ma glielo neghi sinchè egli non la renda sicura che si vegga giustamente tal metà; il che non farà egli giammai. Ed assolutamente chi ha detto vedersi la metà del cielo, e però esser la Terra collocata nel centro, ha prima nel suo cervello la Terra stabilita nel centro, e quindi affermato vedersi la metà del cielo, perchè così dovrebbe accadere quando la Terra fusse nel centro: sicchè non dal vedersi la metà del cielo si è inferito, la Terra essere nel centro, ma raccolto dalla supposizione che la Terra sia nel centro, vedersi la metà del cielo ».

Come ben dice il prof. A. Favaro, l'argomento della seconda parte di questa lettera è quello stesso che Galileo pone in bocca a Simplicio nelle ultime linee del *Dialogo dei Massimi sistemi*, e dal quale si può quindi riconoscere di che genere fosse il valore che nei riflessi scientifici Galileo poteva attribuirvi. La seconda parte della lettera fornisce ancora nuove e fortissime ragioni per convincersi della profonda e fine ironia, contenuta nella prima; ed a questa interpretazione sono pienamente conformi quelle dichiarazioni con le quali, finchè Galileo lo potè, arricchì i margini di quel suo preziosissimo esemplare del condannato dialogo; lo confermano finalmente le manifestazioni che de' suoi incrollabili convincimenti mantenne fino agli ultimi giorni di sua vita e lasciò in eredità ai suoi discepoli. (*N. del Tr.*).

(1) Il solo punto di qualche importanza rispetto alle relazioni di Galileo riguardanti l' Inquisizione, sul quale pare debba esservi

Subito dopo, fu emanato un decreto che condannava le opinioni in quistione e metteva al ben noto *Indice dei libri proibiti* tre libri, che contenevano le ipotesi di Copernico, delle quali il *De revolutionibus* di quest'ultimo, e un altro furono soltanto sospesi " fino a che non fossero stati corretti, " mentre il terzo fu proibito del tutto.

Le necessarie correzioni al libro *De revolutionibus* furono pubblicate ufficialmente nel 1620, e consistettero soltanto in alcuni cambiamenti, i quali tendevano a far apparire i principî fondamentali del libro come pure ipotesi matematiche convenienti per il calcolo. Pare che Galileo rimanesse interamente soddisfatto dell'esito dell' inchiesta, per quanto lo riguardasse personalmente; e dopo aver ottenuto dal cardinale Bellarmino un certificato che dimostrava che egli non aveva mai abiurato le sue dottrine, nè fatto nessuna penitenza in causa di esse, si fermò in Roma per parecchi mesi, per dimostrare che era quivi tenuto in grande fama.

127. Durante gli altri pochi anni che gli rimasero di vita, Galileo, che aveva già varcato la cinquantina, era divenuto di assai malferma salute, e la sua operosità, in confronto a quella passata, era di molto diminuita. Intavolò nondimeno una corrispondenza con la corte di Spagna sul metodo per determinare la longitudine in mare mediante i satelliti di Giove. La parte essenziale del problema, cioè, di trovare la longitudine, consiste nell'ottenere il tempo, mediante il Sole, per un luogo determinato e quello pure di un altro luogo, di cui si conosce la longitudine. Se, per esempio, mezzogiorno a Roma occorre un'ora più presto che a Londra, il Sole impiega un'ora per passare

---

fondamento per qualche serio dubbio, sta nel rigore di questo avvertimento. È probabile che, in quello stesso tempo, fosse proibito a Galileo di « tenere, insegnare o difendere in alcun modo, anche verbalmente o in iscritto », la dottrina criminosa.

dal meridiano di Roma a quello di Londra, e la longitudine di Roma è 15° ad oriente di quella di Londra. In mare è facile determinare il tempo locale, per esempio, osservando il movimento, in cui il Sole si trova alla massima altezza nel cielo; ma la grande difficoltà incontrata all'epoca di Galileo, e molto tempo dopo, consisteva nel determinare il tempo in qualche luogo caposaldo. Gli orologi d'allora e di molto tempo dopo, non davano alcun affidamento per ottenere la misura esatta del tempo durante un lungo viaggio sull'oceano, onde si sentiva generalmente il bisogno di mezzi astronomici per determinare il tempo. L'idea di Galileo era quella che, se si potevano predire i movimenti dei satelliti di Giove, e in particolare gli eclissi, che avvenivano costantemente quando un satellite passava nell'ombra di Giove, allora potevasi preparare una tavola, rispetto a qualche luogo caposaldo, per esempio, Roma, la quale indicasse quando avvenissero gli eclissi; così un marinaio, osservando il tempo locale e paragonandolo con quello dato dalla tavola, poteva determinare quanto la sua longitudine differiva da quella di Roma. È per altro dubbio se i movimenti dei satelliti di Giove potessero in quel tempo esser predetti abbastanza esattamente, per rendere il metodo praticamente utile; in ogni caso le negoziazioni non approdarono a nulla.

Nel 1618 apparvero tre comete e Galileo fu subito trascinato in una controversia sul soggetto con un tal gesuita Grassi. La controversia fu contrassegnata dall'amarezza personale per entrambi, e subito si svolse in modo tale, da comprendere grandi quistioni di Filosofia e di Astronomia. Il risultato finale di essa fu la pubblicazione fatta da Galileo, nel 1623, sotto il titolo *Il Saggiatore,* che trattò incidentalmente della teoria di Copernico, quantunque soltanto in via indiretta come richiedeva l'editto del 1616. In un passo caratteristico, per esempio, Galileo dice:

"... ed in conclusione, se il movimento attribuito alla

Terra, il quale io, come persona pia e cattolica, riputo falsissimo e nullo, s'accomoda a render ragione di tante e sì diverse apparenze, le quali si osservano ne' corpi celesti; io non mi assicurerò, ch'egli, così falso, non possa anco ingannevolmente rispondere alle apparenze delle Comete... „ (1); e parlando ancora dei sistemi rivali di Copernico e di Ticone egli dice:

“... Quanto poi all' ipotesi Copernicana, quando per benefizio di noi cattolici da più sovrana sapienza non fussimo stati tolti d'errore ed illuminata la nostra cecità, non credo che tal grazia e beneficio si fosse potuto ottenere dalle ragioni ed esperienze poste da Ticone. Essendo dunque falsi i due sistemi, o nullo quello di Ticone... „ (2).

Benchè, per importanza scientifica, *Il Saggiatore* debba collocarsi molto, ma molto al disotto degli altri scritti di Galileo, tuttavia fu ritenuto come splendido lavoro di polemica; e nonostante il suo copernicanismo radamente velato, il nuovo papa Urbano VIII, a cui fu dedicato, era talmente soddisfatto di questo libro, che se lo leggeva ad alta voce durante il pranzo. Il libro, per altro, deve aver reso più forti i nemici di Galileo, ed è probabile che, fu a scopo di adoprarsi contro la loro influenza, che egli si recò a Roma l'anno successivo, per presentare i suoi omaggi a Urbano e congratularsi con lui della sua recente esaltazione al pontificato. La visita fu quasi in ogni modo un successo; Urbano gli accordò parecchie amichevoli udienze, gli promise una pensione per suo figlio, gli fece parecchi regali e finalmente lo licenziò con una lettera di speciale raccomandazione per il nuovo granduca di Toscana, il quale aveva fatto intravvedere di essere meno amico di Galileo che il padre. Nondimeno, dall'altro canto, il papa

---

(1) Vedi le opere di Galileo Galilei, edizione Albèri, vol. IV: *Il Saggiatore*, pag. 279.

(2) Vedi *Il Saggiatore*.

rifiutò di ascoltare la domanda di Galileo, cioè che il decreto del 1616 dovesse essere revocato.

128. Galileo si mise allora a lavorare seriamente intorno al grande trattato astronomico, il *Dialogo sui due Massimi sistemi del mondo, Tolemaico* e *Copernicano*, che aveva avuto in mente molto tempo prima del 1610, e nel quale propose di far entrare la maggior parte del suo lavoro astronomico e di raccogliere interamente la vera dimostrazione riguardante la controversia di Copernico. Fu scelta la forma di dialogo, in parte per ragioni letterarie, e ancor più perchè poteva con questo presentare il caso di Copernico così energicamente come desiderava per le bocche di alcuni interlocutori, senza identificare necessariamente le sue opinioni con le loro. Il manoscritto fu quasi completato nel 1629, e, nell'anno seguente, Galileo andò a Roma per ottenere il necessario permesso per pubblicarlo. Il censore fece alcuni cambiamenti, e quindi dette il desiderato permesso per istamparlo a Roma, a condizione che il libro fosse di nuovo da lui riveduto prima di finirne la pubblicazione. Subito dopo il ritorno di Galileo a Firenze scoppiò la peste, e le difficoltà della quarantena resero necessario che il libro si dovesse pubblicare a Firenze invece che a Roma. Ciò richiese un nuovo permesso e la difficoltà incontrata nell'ottenerlo dimostrò che il censore romano nutriva sempre maggiori dubbi intorno al libro. Alla fine, per altro, l' introduzione e la conclusione essendo state mandate a Roma per l'approvazione e probabilmente per qualche ampliamento qui scritto di nuovo, e l'opera intera essendo stata approvata dal censore fiorentino, il libro fu pubblicato, e le prime copie erano quasi pronte nel 1632 e portavano ad un tempo l'*imprimatur* romano e fiorentino.

129. Il Dialogo dura quattro giorni consecutivi, fra tre interlocutori, dei quali Salviati fa da filosofo Copernicano e Simplicio da filosofo Aristotelico, mentre Sagredo è aper-

tamente neutrale; ma, quasi in ogni occasione, o va subito d'accordo con Salviati od è convinto da lui; e frequentemente si unisce a gettare il ridicolo sugli argomenti dell'infelice Simplicio. Quantunque molti dei ragionamenti abbiano ora perduto il loro interesse immediato ed il libro sia troppo lungo, è ancora sempre leggibile „ (1), e i saggi del ragionare scolastico messi in bocca a Simplicio e la confutazione di essi per parte degli altri interlocutori, colpiscono il lettore moderno per la loro stranezza.

Molti dei ragionamenti usati sono stati pubblicati da Galileo nei primi libri, ma acquistano efficacia e potenza con l'essere raccolti e ordinati sistematicamente. Il dogma Aristotelico dell' immutabilità dei corpi è ancora una volta combattuto, e dimostrasi che esso è non solo incompatibile con le osservazioni della Luna, del Sole, delle comete e delle nuove stelle, ma che realmente non si può esporre in una forma scevra da oscurità e da contradizione in sè stessa. Le prove in favore del moto della Terra, tratte dall'esistenza dei satelliti di Giove, e dalle indubitate fasi di Venere, dalle sospettate fasi di Mercurio, e dalle variazioni nell'apparente grandezza di Marte, persistono ancora una volta di più. La maggior semplicità nella spiegazione di Copernico del moto diurno della sfera celeste e del moto dei pianeti è usata potentemente e particolareggiatamente illustrata. Si osserva che, secondo la tesi di Copernico, tutti i movimenti di rivoluzione o di rotazione hanno luogo nella stessa direzione (dall'ovest all'est), mentre che le ipotesi di Tolomeo richiedono che alcuni abbiano luogo in una direzione, altri in un' altra. Inoltre l'apparente movimento diurno delle stelle, che sembrerebbe abbastanza semplice, se le stelle fossero conside-

---

(1) Esso è uno splendido esempio di stile didascalico e di dialogo della nostra letteratura: è scritto in una lingua purissima e viva. (*Nota del Tr.*).

rate come rigidamente attaccate ad una sfera materiale, si dimostra che si compie in un modo affatto differente, se, come ammette anche Simplicio, non esiste tale sfera ed ogni stella si muove in qualche senso indipendentemente. Quindi doveva supporsi che una stella vicina al polo si muova molto più lentamente di una stella vicina all'equatore, poichè descrive nello stesso tempo un cerchio minore; ed inoltre, una prova molto caratteristica dell'abilità di Galileo nel trarre conclusioni da fatti noti, dovuti alla precessione degli equinozi (Cap. II, § 42 e IV, § 84) e al conseguente cambiamento della posizione del polo fra le stelle, alcune di esse che all'epoca di Copernico descrivevano circoli minori e che perciò si muovono molto più lentamente, devono descriverne uno più vicino all'equatore con maggior rapidità e *viceversa*. Una combinazione assai complicata dei movimenti diviene perciò necessaria, per dar conto delle osservazioni, che Copernico spiegava adeguatamente con la rotazione della Terra e con un semplice spostamento del suo asse di rotazione.

Salviati tratta pure della grande difficoltà, con cui il moto della Terra deve causare un moto apparente e corrispondente delle stelle, e che le stelle si suppongono così lontane, da essere il loro movimento impercettibile; onde alcune delle stelle stesse devono essere almeno tanto grandi

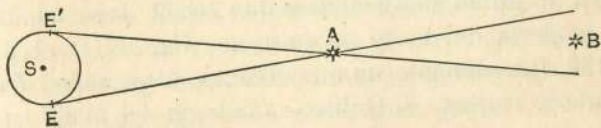



Fig. 57. — *Il metodo differenziale di parallasse.*

quanto l'orbita della Terra intorno al Sole. Salviati dimostra che le grandezze apparenti od angolari delle stelle fisse, evidentemente difficili a determinarsi, sono in realtà quasi interamente illusorie, essendo in gran parte dovute

ad un effetto ottico, conosciuto sotto il nome di *irradiazione*, in virtù della quale un oggetto trasparente tende sempre ad essere ingrandito (1); e che perciò non vi è nessuna ragione di supporre le stelle vicine così grandi come si potrebbe altrimenti pensare. Vi si dice ancora che il miglior modo per iscoprire il movimento annuo delle stelle, risultante dal movimento della Terra, consisterebbe nell'osservare il relativo spostamento di due stelle assai vicine fra loro nel cielo (e perciò quasi nella stessa direzione), delle quali una potesse essere presunta dalla maggiore lucentezza di essere più vicina dell'altra. È evidente, per esempio, che se nella figura *E, E'* rappresentano due posizioni della Terra nel suo giro intorno al Sole, e *A, B* due stelle a differenti distanze, ma quasi nella stessa direzione, allora all'osservatore in *E* la stella *A* appare alla sinistra di *E*, mentre che, sei mesi dopo, quando l'osservatore è in *E'*, allora *A* appare alla destra di *B*. Tale movimento di una stella rispetto ad un' altra e ad essa assai prossima sarebbe più facilmente osservato di un cambiamento dello stesso risultato nella distanza della stella, da qualche punto preso come origine, come, per esempio, il grado. Salviati dimostra che osservazioni esatte di questa specie non ne furono fatte e che il telescopio poteva essere in ciò di aiuto. Il metodo, conosciuto sotto il nome della *stella doppia* o *metodo differenziale di parallasse*, fu infatti il primo che condusse due secoli dopo ad una felice scoperta del moto in quistione (Cap. XIII, § 278).

130. Intieramente un nuovo campo è aperto nel *Dialogo*, quando le scoperte di Galileo sulle leggi del moto dei corpi

---

(1) Questo è illustrato dall' illusione ottica conosciutissima, in virtù della quale, un cerchio bianco su di uno sfondo di cerchio nero appare più grande di uno eguale nero su di uno sfondo di cerchio bianco. L'apparente grandezza del filo rovente in una moderna lampada elettrica incandescente è un altro bell'esempio.

sono applicate al problema del movimento della Terra. La sua grande scoperta, che gettò interamente nuova luce sulla meccanica del sistema solare, era in sostanza la legge data dopo da Newton come la prima delle tre leggi del moto nella forma: “ *Ogni corpo continua nel suo stato di riposo o di moto uniforme in linea retta, salvo che non sia costretto da una forza applicata ad esso a cambiare quello stato* „. Mettendo da banda, per ora, qualunque discussione intorno al concetto di *forza*, il primo concetto realmente immaginato e definito da Newton, e soltanto imperfettamente afferrato da Galileo, è quello che noi possiamo interpretare questa legge dandole il significato che un corpo non ha maggior tendenza inerente a diminuire il suo movimento o a fermarsi di quello che non l'abbia ad accrescerlo o a muoversi, e che ogni cambiamento, o nella velocità o nella direzione del movimento di un corpo, si spiega con l'azione su di esso di qualche altro corpo, e, in ogni modo, con qualche altra causa assegnabile. Così una pietra gettata lungo una strada, viene a fermarsi in virtù dell'attrito fra essa e il suolo; una palla gettata in aria, ascende sempre più lentamente, e poi ricade al suolo in virtù di quella attrazione della Terra su essa, attrazione che noi chiamiamo il suo peso. Siccome è impossibile di isolare interamente un corpo da tutti gli altri, noi non possiamo realizzare sperimentalmente lo stato delle cose, in cui un corpo va movendosi indefinitamente nella stessa direzione e con la stessa velocità; può, per altro, dimostrarsi che più noi rimuoviamo un corpo dall'influenza degli altri, minore alterazione allora si osserva nel suo movimento. La legge è perciò, come gran parte delle leggi scientifiche, un'astrazione che si riferisce ad uno stato di cose, cui noi possiamo in natura avvicinarci. Galileo introduce l'idea, nel suo *Dialogo,* di una palla su di un levigato piano inclinato. Se la palla è lanciata in su, il suo movimento è gradatamente ritardato; se è lanciata in giù, il movimento è continuamente accelerato. Ciò si ve-

rifica se il piano è ben levigato — simile ad un tavolo ben piallato — e l'inclinazione del piano non è molto piccola. Se noi immaginiamo l'esperimento fatto su di un piano ideale, che si suppone *perfettamente* liscio, dobbiamo attenderci che ne seguiranno gli stessi risultati per quanto piccola sia l'inclinazione del piano. Perciò se il piano fosse perfettamente levigato, di modo che non vi fosse differenza fra la salita e la discesa, noi dovremmo aspettarci che il movimento non sarebbe nè ritardato nè accelerato, ma continuerebbe senza cambiare. Altri esempi più famigliari sono pure dati dalla tendenza che ha un corpo, quando una volta è stato messo in movimento, di continuare in esso, come nel caso di un cavaliere, il cui cavallo si ferma istantaneamente, o dei corpi nella cabina di una nave in moto, i quali non hanno tendenza a perdere il movimento comunicato ad essi dalla nave; così che, ad esempio, un corpo sembra cadere precisamente come se il rimanente della cabina fosse in quiete; e perciò mentre cade conserva il libero movimento che ha in comune con la nave e col suo contenuto. Salviati stabilisce dunque che — contrariamente alla generale credenza — un corpo, lasciato cadere dall'albero maestro di una nave in movimento, cade ai piedi dell'albero, non dietro ad esso; ma non vi è relazione con l'esperimento ora eseguito. Una volta stabilito questo principio meccanico, è facile fare alcune comuni obbiezioni intorno al supposto movimento della Terra.

Si dimostra facilmente che il caso di una pietra, lasciata cadere dalla sommità di una torre, la quale pietra, se la Terra in realtà ruotasse rapidamente dall'ovest all'est, potrebbe avvenire che cadesse dalla parte ovest nella sua discesa, è uguale al caso di una pietra, lasciata cadere dall'albero maestro di una nave in movimento. Il moto verso l'est, che il sasso, quando rimane sulla torre, ha in comune con la torre e con la Terra, non è distrutto nella sua discesa, ed è perciò interamente in relazione con la

teoria di Copernico; cioè che il sasso dovrebbe cadere, come di fatto cade, ai piedi della torre(1). Parimente, il fatto cioè che le nubi, l'atmosfera in generale, gli uccelli volanti in essa e gli oggetti liberi sulla superficie della Terra non dimostrano nessuna tendenza ad essere lasciati indietro allorchè la Terra si muove rapidamente verso l'oriente, ma non sono apparentemente influenzati dal movimento di essa, dimostra che esso è analogo al fatto, che le mosche nella cabina di una nave e gli oggetti liberi che vi si trovano non sono in alcun modo affetti dal movimento in avanti della nave (quantunque si facciano i movimenti irregolari di beccheggio e di rollìo). L'obbiezione principale, che una palla da cannone sparata verso occidente, dovrebbe, secondo le ipotesi di Copernico, andar più lontano di una sparata verso oriente nelle stesse condizioni, è spiegata nello stesso modo; ma si dimostra inoltre che, per l'imperfezione e la mancanza di pratica delle armi da fuoco, l'esperimento non potrebbe realmente essere fatto in modo abbastanza accurato da dar luogo ad un risultato decisivo.

La parte più imperfetta del *Dialogo* consiste nella discussione della quarta giornata, sulle maree, delle quali Galileo dà, con grande audacia, una spiegazione basata puramente sul movimento della Terra, tanto che respinge con disprezzo il suggerimento di Keplero e di altri — per quanto fosse esatto — dicendo che esse erano prodotte da qualche influenza che emanava dalla Luna. Non è da maravigliarsi che i rudimenti della Meccanica e le cogni-

(1) Ora, poichè la sommità della torre descrive un cerchio alquanto maggiore di quello descritto dal suo piede, la pietra dapprima si muove verso oriente leggermente e più velocemente al piede della torre, quindi giungerà al suolo alquanto ad est di esso. Questo spostamento, nulladimeno, è molto piccolo e può essere avvertito soltanto da esperimenti molto più delicati di quelli di Galileo.

zioni di Matematica di cui disponeva Galileo, non lo rendessero capace di trattare con esattezza un problema, del quale anche i più vasti mezzi della moderna scienza possono dare una soluzione imperfetta. (Cap. XI, § 248, e Cap. XIII, § 292).

131. L'intiero libro era infatti, quantunque non nella forma, una potente — ed in verità — incontestabile difesa del Copernicanismo. Galileo si sforzò di salvaguardare la sua posizione, in parte con l'uso del *Dialogo*, in parte con una notevolissima introduzione, che non fu soltanto letta e approvata dalle autorità competenti, ma fu, con tutta probabilità, composta in parte dal censore romano e dal papa. Qui riportiamo un brano di un'elaborata e sottile ironia, il quale getta una luce curiosa sull'intelligenza, sulla serietà del papa e del censore, brano che avrebbero approvato.

" Si promulgò, agli anni passati in Roma, un salutifero editto, che, per ovviare a' pericolosi scandali dell'età presente, imponeva opportuno silenzio all'opinione pittagorica della mobilità della Terra. Non mancò chi temerariamente asserì, quel decreto essere stato parto, non di giudizioso esame, ma di passione troppo poco informata; e si udirono querele, che consultori, totalmente inesperti delle osservazioni astronomiche, non dovevano con proibizione repentina tarpar l'ale agli intelletti speculativi. Non potè tacere il mio zelo in udir la temerità di sì fatti lamenti. Giudicai, ben consapevole di quella prudentissima determinazione, comparir pubblicamente nel teatro del mondo come testimonio di sincera verità. Mi trovai allora presente in Roma; ebbi non solo udienza, ma ancora applausi dai più eminenti prelati di quella Corte; nè, senza previa mia informazione, seguì poi la pubblicazione di quel decreto. Per tanto è mio consiglio nella presente fatica mostrare alle nazioni forestiere, che di questa materia se

ne sa tanto in Italia, e particolarmente in Roma, quanto possa mai averne immaginato la diligenza ultramontana; e raccogliendo insieme tutte le speculazioni proprie intorno al sistema Copernicano, far sapere che precedette ad ogni nozione la censura romana, e che escono da questo clima non solo i dogmi per la salute dell'anima, ma ancora gl' ingegnosi trovati per delizia degl' ingegni.

" E però assunsi nel discorso a sostenere la parte Copernicana con ipotesi di pura matematica, e volli mostrar questo procedimento ben superiore ai metodi dei Peripatetici, che si valgono di quattro principii malintesi e che adorano soltanto ombre, con che credono di provare l'assoluta stabilità della Terra...

" ... Spero che da queste considerazioni il mondo conoscerà, che se altre nazioni hanno navigato di più, noi non abbiamo speculato meno; e che il rimettersi ad asserire la stabilità della Terra, e prendere il contrario solamente per capriccio matematico, non nasce da non aver contezza di quanto altri ci abbia pensato, ma, quando altro non fusse, da quelle ragioni, che la pietà, la religione, la conoscenza della divina onnipotenza e la coscienza della debolezza dello ingegno umano ci somministrano " (1).

132. Naturalmente molti nemici di Galileo furon ben lungi dal comprendere questi sottili pretesti, e il grande successo del libro servì soltanto a rendere più intensa l'opposizione che aveva provocato; pare che il papa fosse persuaso che " Simplicio " — zimbello dell' intero dialogo — rappresentasse lui stesso; supposto insulto che amaramente maravigliò la sua vanità; e fu tosto evidente che la pubblicazione del libro non potè esser permessa senza osser-

(1) Dalla prefazione *I dialoghi sui due massimi sistemi*, ecc., intitolata: « Al discreto lettore ».

vazioni. Nel giugno 1632, fu nominata una Commissione speciale per esaminare la cosa — procedura fuori d'uso, col probabile intendimento di assegnare importanza alla cosa trattandosi di Galileo; — e due mesi dopo che uscirono le copie successive, il libro fu proibito, e nel settembre fu emessa dal papa una citazione per Galileo di comparire personalmente davanti all' Inquisizione. Galileo fu evidentemente spaventato dalla citazione, e tentò di evitare la comparizione per i buoni uffici della corte di Toscana; fece valere la sua età e le sue infermità, ma, dopo un indugio considerevole, il papa diede istruzioni di condurlo a Roma, se fosse necessario, con la forza e con le catene. Egli dovette sottomettersi e partì per Roma circa il 1633. Quivi fu trattato con insolito riguardo; poichè, anzi, mentre i grandi delinquenti, in generale, erano confinati nelle loro prigioni, a lui fu permesso di vivere insieme con Niccolini, ambasciatore toscano, durante la lite, immune da molestie per il periodo di circa tre settimane, che egli passò nell'edifizio della Inquisizione, in camere comode appartenenti ad uno dei membri del sant'Uffizio col permesso di corrispondere con i suoi amici, di passeggiare nel giardino e altri privilegi. Alla prima udienza davanti all' Inquisizione, all'imputazione di avere violato il decreto del 1616 (§ 126), rispose che egli non aveva capito che il decreto o l'ammonizione a lui data impedissero l' insegnamento della teoria di Copernico come una pura *ipotesi*, e che il suo libro non aveva sostenuto la teoria in nessun altro modo. Fra la sua prima e seconda udienza, la commissione che aveva esaminato il libro, riferì che egli difendeva e manteneva le dottrine criminose; e Galileo, essendo stato intanto privatamente avvisato dal commissario generale dell' Inquisizione di adottare un' attitudine più sottomessa, ammise nella prossima udienza che, leggendo ancora il suo libro, egli riconobbe che alcune parti di esso presentavano i ra-

gionamenti favorevoli al Copernicanismo più energicamente di quello che egli avesse dapprima pensato. Lo stato miserando in cui egli era ridotto, fu dimostrato dall'offerta che egli fece ora di scrivere una continuazione al *Dialogo*, la quale doveva, per quanto fosse possibile, confutare i suoi propri argomenti sul sistema Copernicano. Nell'udienza finale, fu esaminato sotto la minaccia e la tortura (1), e il giorno seguente fu richiamato per comunicargli la sentenza. Fu convinto "di credere e di ritenere le dottrine — false e contrarie alle sacre e divine Scritture — che il Sole è centro del mondo e che non si muove da est ad ovest; che la Terra si muove e non è il centro del mondo. Inoltre che un'opinione "può essere ritenuta e sostenuta come probabile solo dopo che sia stata dichiarata e decretata non contraria alle sacre Scritture." Per punizione gli fu richiesto di "abiurare, maledire e detestare gli errori detti innanzi;" l'abiura fu letta da lui in ginocchio; e fu poi condannato alla "prigione formale del santo Ufficio;" per volontà dei suoi giudici, e gli fu ingiunto di ripetere i sette Salmi Penitenziali una volta per settimana per tre anni. Il giorno seguente, il papa commutò la pena della prigionia in quella dell'esilio in una casa vicino a Roma appartenente al granduca, e Galileo vi andò il 24 di giugno (2). Avendo supplicato affinchè gli fosse permesso di ritornare a Firenze, gli fu concesso dapprima di andare fino a Siena, e, alla fine dell'anno, gli

---

(1) La minuta ufficiale è: *Et ei dicto quod dicat veritatem, alias devenietur ad torturam...*

(2) I tre giorni del giugno 21-24, furono i soli che Galileo avrebbe passato in questa prigione, e pare non vi sia ragione alcuna di supporre che questi giorni fossero stati da lui passati in altri luoghi che non siano le comode camere, nelle quali si sa che visse durante la maggior parte di aprile.

fu accordato di ritirarsi nella sua casa ad Arcetri, vicino a Firenze, a condizione di non lasciare questa residenza per l'avvenire, senza permesso; ed intanto la corrispondenza, che egli aveva coi suoi amici scientifici e con altri, fu gelosamente invigilata.

La storia del processo fa poco onore tanto a Galileo quanto ai suoi persecutori. Riguardo a questi ultimi, può darsi che, pregati con istanza, agissero con insolita mitezza, se si tien conto dei costumi del tempo; ed è probabile che molti di coloro che ebbero parte nella questione, cercassero di aggravare la condizione di Galileo il meno possibile; ma furono praticamente costretti dal partito personalmente a lui ostile di assumere qualche notizia intorno alla chiara violazione del decreto del 1616. È facile di censurare Galileo per la sua condotta non coraggiosa; da una parte però si deve ricordare che egli aveva circa settant'anni ed era molto malandato in salute; dall'altra che l'Inquisizione Romana, se non era crudele come quella di Spagna, tuttavia aveva una gran potenza al principio del secolo XVII; al tempo di Galileo (1600), Giordano Bruno fu bruciato vivo per scritti che, oltre a contenere eresie politiche e religiose, sostenevano l'Astronomia di Copernico e combattevano la filosofia tradizionale di Aristotile. Oltre a ciò sarebbe ingiusto riguardare la sua sottomissione come dovuta puramente a semplici considerazioni della salvezza personale, perchè — a parte la questione se la sua scienza amata avesse guadagnato qualche cosa con la sua morte o con la sua permanente prigionia — non vi poteva essere dubbio che Galileo fosse perfettamente un sincero seguace della sua Chiesa; e quantunque egli facesse il suo meglio per convincere i singoli membri della Chiesa della esattezza delle sue vedute, e per menomare la condanna di esse, che ebbe luogo nel 1616, tuttavia egli era ben preparato all'esito finale sapendo già che la condanna aveva il proposito nell'animo del papa, del Santo Uffizio e di altri,

di far credere che in alcuni punti almeno, le sue vedute dovessero essere errate; quantunque in materia di osservazione e di pura ragione, egli fosse capace di vedere il come od il perchè. Infatti, come molti altri uomini sommi, egli fu sempre maturatamente serio, tanto rispetto alla Chiesa da una parte, quanto rispetto alla investigazione scientifica dall'altra.

Copie della sentenza su Galileo e della sua abiura circolarono subito in Italia ed altrove nei circoli cattolici romani; e un decreto della congregazione dell'Indice fu allora emanato per aggiungere il *Dialogo* ai tre libri di Copernico condannati nel 1616 e all'*Epitome* di Keplero sull'Astronomia di Copernico (Cap. VII, § 145), che fu messo all'Indice poco tempo dopo. Può essere interessante far notare che questi cinque libri rimasero ancora nell'edizione dell'*Indice dei libri proibiti*, che fu stampata nel 1819 (con appendici datati fino all'anno 1821), ma disparvero dalla nuova edizione, cioè quella del 1835.

133. Il rimanente della vita di Galileo può descriversi molto brevemente. Eccetto alcuni mesi, durante i quali gli fu permesso di rimanere a Firenze per farsi curare dai medici, restò poi continuamente ad Arcetri; evidentemente sorvegliato assai di nascosto dagli agenti del Santo Uffizio, molto ristretto nella corrispondenza con i suoi amici e impedito di dare ai suoi studi quell'indirizzo che gli piaceva di più. Era, inoltre, molto cagionevole di salute, afflitto da dispiaceri domestici, specialmente per la morte di sua figlia, avvenuta nel 1634, la quale era monaca in un convento vicino. Ma il suo ingegno era sempre eguale; e continuò parecchi importanti frammenti di lavori, che aveva cominciato al principio della sua carriera. Fece alquanto progredire lo studio dei suoi pianeti *Medicei* e il metodo di trovare la longitudine basata sui loro movimenti (§ 27); e trattò, a questo riguardo, col governo del duca. Fece pure una ulteriore scoperta rela-

tiva alla Luna, abbastanza importante da meritare alcune parole di delucidazione. Si sa da molto tempo che mentre la Luna descrive la sua rivoluzione mensile intorno alla Terra, noi vediamo le stesse macchie sostanzialmente nelle stesse posizioni sul disco, così che si può dire che la stessa faccia della Luna è rivolta verso la Terra. Avvenne a Galileo di ricercare se ciò fosse proprio vero; o se si potesse osservare, al contrario, qualche cambiamento nel disco della Luna. Egli vide che, quantunque la linea che unisce i centri della Terra e della Luna passi all'incirca sempre per lo stesso punto sulla superficie della Luna, nondimeno certi cambiamenti nella posizione di un osservatore sulla Terra lo rendevano capace di vedere di tanto in tanto differenti porzioni della superficie della Luna. Il più semplice di questi cambiamenti è dovuto al movimento giornaliero della Terra. Supponiamo, per semplicità, che l'osservatore si trovi sull'equatore della Terra e che la Luna in quel tempo si trovi sull'equatore celeste. Il circolo maggiore nella fig. 58 rappresenti l'equatore terrestre e il minore rappresenti la sezione della Luna fatta dal

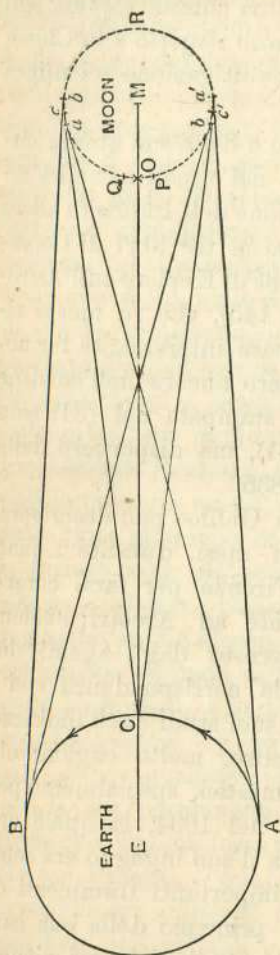



Fig. 58. — *La librazione giornaliera della Luna.*

piano dell'equatore. Allora, in circa dodici ore, la rotazione della Terra porta l'osservatore in A, dove vede la Luna nascente in B, in cui egli si colloca. Quando è in C, sulla linea che unisce i centri della Terra e della Luna, il punto O pare sia il centro del disco della Luna ed è visibile la porzione Coc', CRc' è invisibile. Ma quando l'osservatore si trova in A, il punto P alla destra di O, appare nel centro e la porzione APA' è visibile, così che $C'A'$ è ora visibile e AC invisibile. Nello stesso modo, quando l'osservatore è in B, egli può vedere la porzione $c\,b$, mentre $b'\,c'$ è invisibile, e L pare sia nel centro del disco. Così, nel corso del giorno, la porzione $a\,o\,b'$ rappresentata dalla figura, è costantemente visibile e $b\,r\,a'$ (pure rappresentata) costantemente invisibile; mentre acb ed $a'c'b'$ alternatamente compaiono alla vista e dispaiono. In altre parole, quando la Luna è nascente, vediamo una piccola parte, che è allora la più alta; e quando la Luna è tramontante, vediamo di più una piccola parte dall'altro lato, che è la più alta in questa posizione. Una simile spiegazione può darsi quando l'osservatore non si trovi sull'equatore della Terra; ma la geometrica interpretazione è alquanto più complicata. Nello stesso modo, siccome la Luna passa dal sud al nord dell'equatore e viceversa, siccome essa gira intorno alla Terra, noi vediamo alternativamente più e meno la metà settentrionale e meridionale della Luna. Questi cambiamenti ed altri di simil genere, i quali oggidì sono conosciuti sotto il nome di “ librazioni della Luna „ derivando da considerazioni geometriche facili a prevedere, Galileo si mise a studiarli per dimostrare la loro esistenza con l'osservare certe macchie della Luna, ordinariamente visibili vicino all'orlo; e scopriva subito dei cambiamenti nella loro distanza dall'orlo che, in generale, si accordavano con le sue previsioni teoriche. Una più precisa ricerca fu, per altro, interrotta per difetto di vista, il

quale difetto lo ridusse poi alla totale cecità (verso la fine del 1636).

Ma il lavoro più importante di questi ultimi anni fu il compimento della grande opera, nella quale egli raccolse e completò le sue scoperte nella Meccanica, cioè: *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla Meccanica ed ai movimenti locali, altrimenti Dialoghi delle Nuove scienze;* esso fu scritto in forma di dialogo fra gli stessi tre interlocutori, che figurarono nel *Dialogo sui massimi sistemi*, ma è evidentemente inferiore in merito letterario alla prima opera. Per noi è poco interessante quella parte abbastanza grande del libro che tratta delle condizioni, cui debbono soddisfare i corpi tenuti in riposo da forze applicate ad essi (statica), e di certi problemi relativi alla resistenza dei corpi alla rottura e alla piegatura, quantunque in ambedue questi argomenti, Galileo aprisse un nuovo campo. Più importante, sotto l'aspetto astronomico e probabilmente anche intrinsecamente, è ciò che egli chiama la scienza del movimento locale (1), che tratta del movimento dei corpi. Costruisce sulle basi dei primi esperimenti (§ 116) una teoria dei corpi cadenti, in cui si verifica, per la prima volta, l'importante concetto del *moto uniformemente accelerato* od *accelerazione uniforme*, cioè quel moto nel quale il corpo in movimento riceve, in ogni intervallo eguale di tempo, un eguale incremento di velocità. Egli dimostra che il movimento di un corpo cadente è — facendo astrazione dall'azione dell'atmosfera — di questa natura, e che, come già fu dimostrato, il movimento è lo stesso per tutti i corpi, quantunque il valore numerico che egli dà non sia molto

---

(1) Equivalente a quelle parti della Meccanica ora chiamate Dinamica, o più esattamente Cinematica o Cinetica.

preciso (1). Da questa legge fondamentale, egli ricava un numero di deduzioni matematiche, collegando insieme lo spazio percorso, la velocità ed il tempo decorso, tanto per il caso di un corpo cadente liberamente, quanto per uno che cade lungo un piano inclinato. Egli dà pure una esatta teoria elementare sui proietti, nella quale egli enuncia più completamente di prima la legge dell'inerzia già ricordata al § 130, quantunque la forma di Galileo sia ancor meno generale di quella di Newton:

" *Si immagini un corpo proiettato o gettato lungo un piano orizzontale, essendo rimossi tutti gli ostacoli. Ora è chiaro da ciò che abbiamo prima detto, che il suo movimento sarà uniforme e perpetuo lungo il detto piano, se il piano si estende indefinitamente.* "

In quanto ai proietti, sembra pure a Galileo di poter asserire che un corpo può essere concepito come avente movimenti, ad un tempo, in due direzioni differenti, e che l'uno può considerarsi come indipendente dall'altro; così che, per esempio, se una palla è lanciata orizzontalmente fuori di un fucile, il suo movimento di discesa, dovuto al suo peso, non è alterato dal suo movimento orizzontale, e conseguentemente arriva al suolo nello stesso tempo di una palla che cade liberamente. Ma Galileo non dà nessuna esposizione di questo principio, che viene poi incluso da Newton nella sua seconda legge del moto.

Il trattato sulle *Due nuove scienze* fu terminato nel 1636; e poichè nessun libro di Galileo potè più essere stampato in Italia, esso fu pubblicato dopo poco tempo a Leida nel 1638. Nello stesso anno, la vista che egli aveva alquanto

(1) Egli calcola che un corpo, in un secondo, cadendo, percorre quattro « *bracchia* » equivalenti a circa otto piedi, essendo la vera distanza poco più di sedici.

ricuperato, dopo il suo primo attacco di cecità, gli mancò completamente, e quattro anni dopo (18 gennaio 1642) morì.

134. Delle principali scoperte scientifiche di Galileo già abbiamo parlato. Le scoperte telescopiche, sulle quali è fondata la sua fama popolare, hanno probabilmente richiamato la maggior attenzione; molte di esse sono state fatte quasi simultaneamente da altri, e le rimanenti essendo quasi risultati inevitabili dell'invenzione del telescopio, non potevano essere più a lungo ritardate. Ma il sapiente uso che Galileo faceva di esse nel ragionamento per giustificare il sistema di Copernico; il non meno importante appoggio che le sue scoperte di dinamica davano alla stessa causa; la lucidità e la grande dialettica con cui egli esponeva gli argomenti in favore delle sue vedute e demoliva quelle de' suoi oppositori, unitamente agli incidenti sensazionali della sua persecuzione, formavano tutt'insieme un forte contributo alla controversia copernicana, che fu, infatti, decisiva. Libri di testo astronomici continuarono ancora a dare, a parte a parte, calcoli sui sistemi tolemaico e copernicano; e gli autori, se per caso erano buoni cattolici romani, davano ordinariamente, in qualche modo più o meno grossolano, la loro adesione al primo; ma nell'Astronomia tradizionale non era permessa più alcuna vita reale; i nuovi progressi nella teoria astronomica erano fatti secondo le vedute di Copernico, e nella estesa corrispondenza scientifica di Newton e de' suoi contemporanei, la verità del sistema di Copernico assai difficilmente si presenta come un soggetto di discussione.

Le scoperte dinamiche di Galileo, che, in parte, sono soltanto di importanza astronomica, rappresentano, per molti riguardi, il più importante contributo alla scienza. Poichè, se in Astronomia egli costruiva sui fondamenti posti dalle precedenti generazioni, in Dinamica non fu quistione di migliorare o sviluppare una scienza esistente, ma di crearne una nuova. Da' suoi predecessori, non ere-

ditò altro che erronee tradizioni e idee oscure; e quando queste vennero abbandonate, egli era pervenuto a nozioni chiare e fondamentali, ad immaginare esperimenti e a fare osservazioni, ad interpretare i risultati sperimentali e a trarne le conseguenze matematiche delle più semplici leggi, a cui prima erano giunti. I risultati positivi ottenuti non possono sembrare in gran numero, se esaminati dal più alto punto di vista delle nostre cognizioni moderne, ma bastavano per costituire una base sicura per l'edifizio che aggiunsero gl' investigatori successivi.

È cosa comune associare al nome dell'inglese Francesco Bacone (1561-1627) la riforma dei metodi nella scoperta scientifica, che ebbe luogo durante il XVII secolo, e alla quale deve essere attribuito maggior parte del progresso fatto da quell'epoca nelle scienze naturali. Il valore della teoria di Bacone, rispetto alla scoperta scientifica, è apprezzato in modo differente dai diversi critici; ma non vi può essere quistione riguardo allo speciale cattivo successo dei suoi tentativi nell'applicazione ai casi particolari; e si può onestamente domandare se i metodi scientifici costantemente usati da Galileo, non contengano una gran parte di ciò che vi ha di valore nella filosofia scientifica di Bacone, mentre, nello stesso tempo, si evitano alcuni de' suoi errori.

In parecchie occasioni abbiamo già accennato alle proteste di Galileo contro il metodo comune di trattare le questioni scientifiche con l'interpretazione dei luoghi di Aristotile, di Tolomeo e di altri scrittori, ed alla sua costante insistenza sulla necessità di riferirsi direttamente all'osservazione reale dei fatti. Ma mentre nei punti essenziali era d'accordo con Bacone, differiva da lui nel riconoscere l'importanza, tanto nel dedurre nuovi risultati da quelli stabiliti con processo matematico o con altri processi di ragionamento esatto, quanto con l'usare tali deduzioni, allorchè venivano paragonate coi nuovi risultati sperimen-

tali, come un mezzo di verificare le ipotesi adottate provvisoriamente. Questo metodo di prova, che è base di quasi tutta l'importante scoperta scientifica, può difficilmente essere descritto meglio di quello che abbia fatto Galileo nella propria esposizione di esso, pur applicata ad un caso particolare: “ Prendiamo dunque per ora questo come *postulato*, la verità assoluta del quale ci verrà poi stabilita dal vedere altre conclusioni dedotte da tale ipotesi rispondere e puntualmente accordarsi con l'esperienza „ (1).

---

(1) Vedi *Dialoghi delle nuove scienze* (giornata terza), pag. 166, edizione Albèri.

CAPITOLO VII.

Keplero.

« Le sue celebri leggi furono il parto della vita di un tempo di speculazione, per la maggior parte di vanità e senza fondamento.... Ma il nome di Keplero era destinato a divenire immortale per la pazienza con cui egli sottomise le sue ipotesi al confronto con l'osservazione, il candore con cui riconobbe un errore appresso all'altro, e la perseveranza e l'abilità con cui egli rinnovò il suo assalto contro gli enigmi della natura ».

JEVONS.

135. Giovanni Keplero o Kepplero (1) nacque nel 1571, sette anni dopo Galileo, a Weil nel Würtemberg; i suoi genitori erano di condizioni modeste, benchè suo padre vantasse qualche diritto ad una origine nobile. Quantunque in Weil stessa predominasse la Chiesa cattolica romana, la famiglia Keplero era protestante, fatto che entrò frequentemente nei varî stadi della carriera di Keplero. Ma il padre non poteva essere stato in alcun modo zelante della sua fede, poichè si arruolò nell'esercito del noto duca di Alba, quando era impegnato a tentare di soffocare la rivolta dei Neerlandesi contro la persecuzione spagnuola.

(1) Pare che l'astronomo abbia usato ambedue le ortografie del suo nome quasi indifferentemente. Per esempio, nel frontespizio della sua opera più importante, *I commentari sui movimenti di Marte* (§ 141), ha la forma di *Keplero*, mentre la dedica del libro stesso è segnata *Kepplero*.

La fanciullezza di Giovanni Keplero fu notevole per il numero fuori dell'ordinario delle sue malattie e delle sue debolezze corporali, unita alla promessa di grande capacità intellettuale; e ciò pareva indicarlo a seguire gli studi ecclesiastici, siccome una carriera importante. Dopo aver frequentato varie scuole elementari molto irregolarmente — irregolarità dovuta in parte alla sua malferma salute e in parte al lavoro domestico — fu mandato, nel 1584, a spese pubbliche, alla scuola monastica ad Adelberg, e due anni dopo ad una scuola o collegio della stessa specie, ma più avanzato, a Maulbronn, che era annesso all'Università di Tübingen, allora uno dei maggiori centri della Teologia protestante.

Nel 1588 ottenne il grado di baccelliere, e nell'anno seguente fu ammesso alla Facoltà di filosofia a Tübingen. Quivi studiò sotto Maestlin, professore di matematiche, da cui imparò privatamente i principî del sistema copernicano, quantunque le lezioni del professore fossero fatte ancora con l'indirizzo tradizionale.

Nel 1591, Keplero fu dichiarato come licenziato in lettere, essendo riuscito il secondo su quattordici candidati, e si dedicò principalmente allo studio della Teologia.

136. Nel 1594, nulladimeno gli Stati protestanti della Stiria si rivolsero a Tübingen per un professore di Matematica (inclusavi l'Astronomia) per l'alta scuola di Gratz, e l'incarico fu offerto a Keplero. Siccome egli non aveva conoscenza della materia e nessuna inclinazione per essa, esitò dapprima ad accettare l'offerta, ma finalmente l'accettò pattuendo espressamente, per altro, che egli non avrebbe in seguito a questa nomina perduto i suoi diritti alla promozione ecclesiastica nel Würtemberg. La richiesta d'un insegnamento di alta Matematica a Gratz sembra sia stata ben lieve; perchè durante il suo primo anno dell'insegnamento di Matematica pochissimi studenti frequentarono il suo corso, e nell'anno seguente nessuno; cosicchè,

per supplire alla diminuzione del suo stipendio, cominciò ad insegnare gli elementi di varî altri rami. Era oltre a ciò suo dovere di preparare annualmente un almanacco o calendario, il quale era destinato a contenere non solamente le informazioni elementari astronomiche, come è in uso nei calendari d'oggi, ma anche le informazioni astrologiche di carattere molto più importante, come predizioni meteorologiche e degli eventi notevoli, guida per fausti o infausti eventi e simili. Il primo calendario di Keplero, per l'anno 1595, conteneva alcune felici profezie del tempo; perciò egli acquistò una fama popolare considerevole come profeta e astrologo, la quale durò per tutta la sua vita.

Frattanto i suoi doveri ufficiali gli lasciavano evidentemente molto tempo libero, che egli dedicava con energia caratteristica nell'acquistare quante cognizioni potè in Astronomia e nel meditare sul soggetto.

Secondo egli dice, “ vi erano tre cose in ispecie, cioè il numero, la grandezza e il movimento dei corpi celesti, per le quali egli ricercò zelantemente le ragioni onde esse erano così e non altrimenti „; e i risultati di un lungo corso di intricate speculazioni al riguardo lo condussero infine ad un risultato, di cui egli rimase pienamente soddisfatto — una relazione numerica che collega le distanze di parecchi pianeti dal Sole a certi corpi geometrici conosciuti come solidi regolari (dei quali il cubo è il più noto), relazione la quale numericamente non è molto esatta, ed è assolutamente di nessun significato od importanza (1). Questa sco-

---

(1) Se i solidi regolari sono presi in quest'ordine: cubo, tetraedro, dodecaedro, icosaedro, ottaedro, e di tale grandezza, che una sfera possa essere circoscritta ad essi e nello stesso tempo iscritta nel solido precedente della serie Keplero dimostrò allora, che i raggi delle sei sfere, così ottenute, sono approssimativamente proporzionali alle distanze dal Sole dei sei pianeti: Saturno, Giove, Marte, Terra, Venere e Mercurio.

perta, insieme ad un ragguaglio particolareggiato dei passi che conducono ad essa, come pure diversi altri passi, che non approdano a nulla, fu pubblicata nel 1596 in un libro, di cui una parte del titolo può essere così tradotta: *Il precursore delle Dissertazioni sull'universo, contenente il Mistero dell'Universo* — comunemente indicato come il *Mysterium Cosmographicum.* Il contenuto era probabilmente molto più attraente e sembrava più stimabile ai contemporanei di Keplero che a noi; ma anche a quelli che erano meno proclivi a dare importanza alle sue conclusioni, il libro testimoniava della sua profonda conoscenza dell'Astronomia e della sua grandissima abilità; e tanto Tycho Brahe, quanto Galileo, a cui le copie furono mandate, riconobbero nell'autore il germe del futuro astronomo di gran valore.

137. Nel 1597 Keplero si ammogliò. Nell'anno seguente, i torbidi religiosi, che erano andati per alcuni anni continuamente crescendo, aumentarono ancora con l'azione dell'arciduca Ferdinando d'Austria (in seguito imperatore Ferdinando II), il quale, al suo ritorno da un pellegrinaggio a Loreto, incominciò nei suoi dominî una fiera persecuzione contro i Protestanti; per cui vi fu un ordine che tutti i ministri protestanti e professori in Stiria dovessero lasciare subito il paese (1598). In seguito a ciò Keplero fuggì in Ungheria, ma ritornò dopo alcune settimane con permesso speciale dell'Arciduca, concesso evidentemente dietro parere del partito dei gesuiti, che sperava di convertire l'astronomo. Gli scolari di Keplero, erano, per altro, stati in gran parte sparpagliati dalla persecuzione; onde fu difficile assicurargli il regolare pagamento dello stipendio; e la crescente onda del Cattolicismo rese la sua posizione di più in più incerta. Le proposte di Tycho furono per ciò ben accette a Keplero, il quale, nel 1600, gli fece una visita, come si è già detto (Cap. V, § 108), a Benatek e Praga. Ritornò a Gratz nell'autunno,

incerto ancora se dovesse o no accettare l'offerta di Tycho; ma essendo allora definitivamente rimosso dal suo posto a Gratz per causa delle sue opinioni protestanti, ritornò finalmente a Praga agli ultimi dell'anno.

138. Subito dopo la morte di Tycho, Keplero fu nominato suo successore in qualità di matematico dell'imperatore Rodolfo (1602), ma solo con la metà di stipendio del suo predecessore; e anche questo gli veniva pagato con grande irregolarità, cosicchè le lagnanze per gli arretrati e le difficoltà pecuniarie costanti ebbero una parte importante nella sua vita futura, come avvenne durante gli ultimi anni di soggiorno a Gratz. Gli strumenti di Tycho non passarono mai in suo possesso; ma siccome egli aveva poca inclinazione o poca abilità nell'osservare, la perdita probabilmente non fu grande; fortunatamente, dopo aver superate alcune difficoltà incontrate con gli eredi, egli potè mettere a contributo gran parte delle serie incomparabili di osservazioni di Tycho; il qual lavoro, fatto a scopo di ottenere una migliore teoria del sistema solare, fu la principale occupazione dei successivi venticinque anni della sua vita. Prima, per altro, che avesse ottenuto qualche risultato in proposito, pubblicò parecchie opere minori — per esempio, due opuscoli su una nuova stella apparsa nel 1634, ed un trattato sulle applicazioni dell'Ottica all'Astronomia (pubblicato nel 1604 col titolo: *Ad Vitellionem Paralipomena quibus Astronomiae pars Optica Traditur* ecc.), la parte più importante e più interessante del quale consiste in un miglioramento considerevole apportato alla teoria della rifrazione astronomica. (Cap. II, § 41 e Cap. V,§ 110.) Un trattato posteriore di Ottica (la *Dioptrica* del 1611) suggeriva nella costruzione del cannocchiale l'uso di due lenti convesse, che è la forma ora più comunemente adottata e costituisce un notevole perfezionamento dello strumento di Galileo (Cap. VI, § 118); una di queste lenti è concava; ma pare che Keplero non abbia avuto abbastanza

abilità meccanica per costruire da sè stesso effettivamente un cannocchiale di tal tipo; o di avere avuto modo di farlo fare per lui da operai; ed è probabile che Scheiner, nemico di Galileo, (Cap. VI, §§ 124, 125) fosse stato il primo ad usare (circa il 1613) uno strumento di questa specie.

139. È già stato accennato (Cap. V, § 108) che quando Tycho distribuiva il lavoro del suo Osservatorio fra i suoi assistenti, assegnò a Keplero lo studio del pianeta Marte, siccome quello che presentava probabilmente maggiore difficoltà degli altri soggetti assegnati agli altri. Si sapeva, fino dal tempo di Copernico, che i pianeti, la Terra compresa, girano intorno al Sole in orbite che non erano, in alcuna guisa, molto differenti dai circoli, e che le deviazioni dal moto uniforme circolare potevano essere rappresentate grossolanamente dai sistemi di eccentrici e di epicicli. Le deviazioni dal moto uniforme circolare erano, per altro, notevolmente differenti in valore nei differenti pianeti, essendo, per esempio, molto piccole nel caso di Venere, relativamente grandi nel caso di Marte e più grandi ancora in quello di Mercurio. Le *Tavole Prussiane*, calcolate da Reinhold secondo il sistema copernicano (Cap. V, § 94) furono subito trovate imperfettissime nel rappresentare gli effettivi movimenti, essendo stati notati da Tycho e da Keplero errori di 4° e 5°; onde i principî, sui quali erano stati fondati i calcoli di queste tavole, erano evidentemente falsi.

La soluzione del problema era evidentemente più verosimile che si fosse trovata mediante lo studio di un pianeta, nel quale le deviazioni del moto circolare erano grandi quanto era possibile. Nel caso di Mercurio ben poche erano le osservazioni soddisfacenti, mentre nel caso di Marte ve ne era una buona serie registrate da Tycho; e quindi fu vero accorgimento da parte di Tycho l'assegnare al suo assistente più abile questo pianeta particolare e da parte di Keplero il continuare la ricerca con indefessa

pazienza. Il sistema particolare degli epicicli usato da Copernico essendo stato trovato difettoso, Keplero continuò a studiare onde escogitare altri sistemi geometrici, i cui risultati si potessero paragonare con l'osservazione. Le posizioni di Marte, come si vedono nel cielo, essendo un risultato combinato dei movimenti di Marte e della Terra nelle loro rispettive orbite intorno al Sole, le irregolarità delle due orbite erano evidentemente mescolate in un modo intricato; e quindi si ottenne una grande semplificazione quando Keplero riuscì, con un' ingegnosa combinazione di osservazioni fatte in tempi convenienti, a separare le difficoltà dovute alla Terra da quelle dovute al movimento di Marte stesso, e così poter richiamare la sua attenzione sull'ultime. La sua feconda imaginazione suggerì ipotesi ad ipotesi, combinazione a combinazione di eccentrico, epiciclo ed *equante*, calcolò i risultati di ognuno e li paragonò rigorosamente con l'osservazione, ed arrivò al punto di trovare un sistema geometrico, che era adatto a rappresentare le osservazioni con errori non eccedenti 8′ (1). Un uomo di minore altezza intellettuale o meno convinto della necessità di subordinare la teoria ai fatti, quando essi non vanno con quella d'accordo, poteva essere soddisfatto di questo grado di esattezza, o supporre che le osservazioni discordanti di Tycho fossero errate. Però Keplero pensò altrimenti:

« Giacchè la divina bontà ha dato a noi in Tycho

(1) Due stelle, che distano di 4′ fra loro, sembrano precisamente distinte all'occhio nudo di una persona di una media acutezza di vista.

Sulla separazione di due punti lucenti, visti ad occhio nudo, è necessario mettere in conto il loro relativo splendore; e però l'assegnare numeri limiti è cosa assai difficile ed incerta; tuttavia due stelle di terza grandezza sono separate senza grave difficoltà quando distano di 3′ da circa 60 persone sopra 100 che fanno l'esperimento. (*N. d. Trad.*).

Brahe un osservatore molto accurato, le cui osservazioni, come è dimostrato in questo calcolo, sono affette dall'errore di 8'...., è giusto che noi dobbiamo riconoscere con gratitudine e fare uso di questo dono di Dio.... Poichè se io avessi potuto considerare 8' di longitudine come trascurabili, avrei già corretto sufficientemente le ipotesi trovate nel capitolo XVI.... Ma se non possono essere trascurati, questi 8' soli aprono la strada alla completa riforma dell'Astronomia, e formano l'argomento trattato in gran parte di questa opera „ (1).

140. Egli cominciò quindi a studiare di nuovo, e dopo aver tentato molte altre combinazioni di circoli, decise

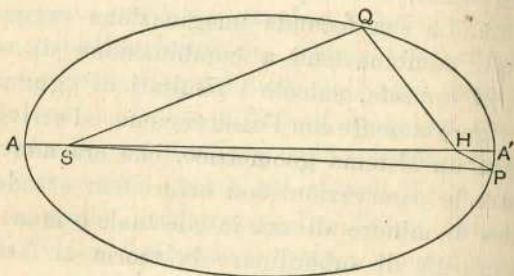



Fig. 59. — *Un'ellisse.*

che l'orbita di Marte dovesse essere una specie di ovale. Dapprima fu inclinato a credere in un'ovale, che avesse la forma di un uovo, più ampio da un capo che dall'altro; ma tosto abbandonò questa idea. Finalmente sperimentò la più semplice delle curve ovali conosciute, l'ellisse (2),

(1) *Commentari sui movimenti di Marte*, parte II, fine del Cap. XIX.

(2) Un'ellisse è una di quelle curve conosciute col nome di *sezioni coniche*, che possono essere formate facendo con un piano una sezione in un cono; e può essere definita come la curva nella quale la somma delle distanze di un punto qualunque di essa, da due punti interni fissi, conosciuti col nome di *fochi*, è sempre la

e trovò a suo conforto che essa soddisfaceva alle condizioni del problema, se il Sole fosse supposto in un foco dell'ellisse, descritta da Marte.

Era necessario inoltre di formulare la legge per la variazione del valore del movimento del pianeta nelle differenti parti della sua orbita. Qui ancora Keplero tentò parecchie ipotesi nelle quali egli addirittura si smarrì, a causa degli imbarazzi creati dalle questioni matematiche; ma fortunatamente giunse, dopo un incerto processo di

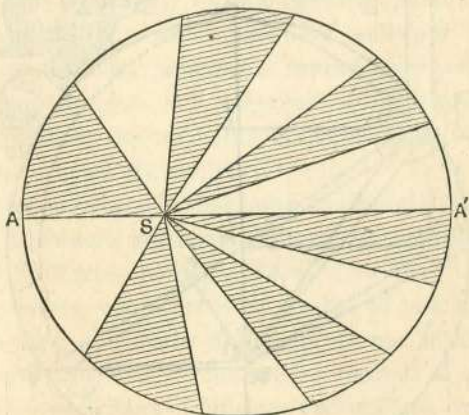



Fig. 60. — *La seconda legge di Keplero.*

compensazione di errori, ad una legge semplice, che egli mise d'accordo con l'osservazione. Trovò che il pianeta si muoveva velocemente quando trovavasi vicino al Sole, e si moveva lentamente quando trovavasi lontano; in modo

---

stessa. Così se, nella figura S e H sono i fochi, e P e Q sono due punti qualunque sulla curva, allora le distanze SP, HP, sommate, sono uguali alle distanze SQ, QH, pure sommate; e ciascuna somma è uguale alla lunghezza AA' dell'ellisse. La ragione della distanza SH alla lunghezza AA' è conosciuta col nome di *eccentricità*, ed è la misura di quanto l'ellisse differisce dal cerchio.

tale che l'avea descritta in ogni tempo dalla retta che congiunge il Sole a Marte, era sempre proporzionale al tempo. Così nella figura 60 (1) il movimento di Marte è più rapido nel punto A che è più vicino al foco S, dove trovasi il Sole; meno rapido in A' e le parti ombreggiate e non ombreggiate della figura rappresentano aree uguali,

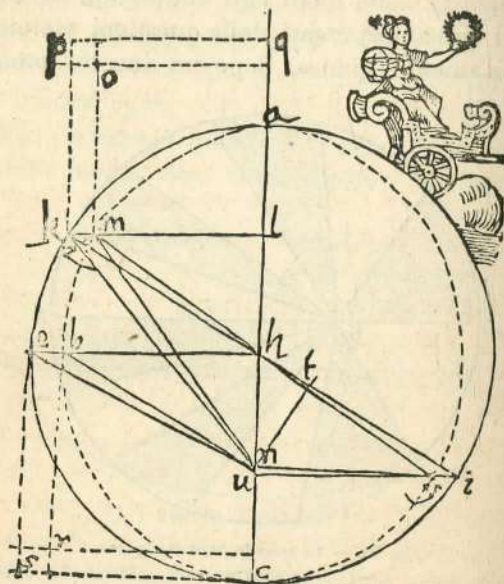



Fig. 61. — *Diagramma usato da Keplero per stabilire la sua legge del moto planetario.*

corrispondenti al movimento del pianeta durante un mese. Il trionfo di Keplero, giungendo a questo risultato, è espresso dalla figura della Vittoria che si vede, nell'angolo del dia-

---

(1) L'ellisse è più allungata che la vera orbita di Marte, un esatto disegno della quale non la farebbe distinguere all'occhio da un cerchio. L'eccentricità è $\frac{1}{3}$ nella figura, quella di Marte essendo $\frac{1}{10}$.

gramma (fig. 61), che fu usato nello stabilire l'ultimo stadio della sua dimostrazione.

141. Così vennero stabiliti, per il caso di Marte, i due più importanti risultati, conosciuti generalmente come le due prime leggi di Keplero:

1° *Il pianeta descrive una ellisse, il Sole occupando uno dei fochi.*

2° *La linea retta che unisce il pianeta al Sole, descrive aree eguali in tempi eguali.*

L'intera storia di questa investigazione, con i risultati già stabiliti e un numero di sviluppi e risultati di minor importanza, insieme a innumerevoli digressioni ed affrettati commenti sul progresso della ricerca, fu pubblicato, nel 1609, in un libro di gran mole, i *Commentari sui movimenti di Marte* (1).

142. Quantunque le due leggi del movimento planetario, ora date, fossero soltanto dimostrate compiutamente per il caso di Marte, Keplero stabilì che l'orbita della Terra doveva essere una specie di ovale; ed era evidentemente già convinto — aiutato dalla sua ferma credenza nell'armonia della natura — che tutti i pianeti si movevano secondo le stesse leggi. Questa veduta era indicata nella dedica del libro all'imperatore Rodolfo, la quale dà un capriccioso ragguaglio dell'opera come una lotta contro il ribelle Dio della guerra, Marte, il cui risultato è che Marte viene finalmente portato come schiavo ai piedi dell'imperatore e per l'avvenire incomincia a far vita da uomo leale. Siccome, per altro, egli ha molte relazioni negli spazi eterei — suo padre Giove, suo nonno Saturno, sua sorella Venere, suo fratello fedele Mercurio — ed egli si muove a pietà per essi ed essi per lui, *in virtù della so-*

(1) *Astronomia nova* αἰτιολογητός, *seu Physica Coelestis, tradita Commentariis de Motibus Stellae Martis.* Ex *Observationibus* G. V. Tychonis Brahe.

miglianza dei loro abiti, si rivolge all'imperatore per mandare una spedizione, quanto prima sia possibile, per catturarli e di provvedere, a questo scopo, Keplero dei "*nerbi della guerra*", affinchè potesse fornire un esercito conveniente.

Benchè il denaro così delicatamente domandato fosse fornito solo molto irregolarmente, Keplero tenne saldamente d'occhio alla spedizione, per cui esso doveva essere adoperato o, per dirlo con chiare parole, lavorò con fermezza al problema per estendere la sua teoria ellittica agli altri pianeti e per costrurre le tavole dei movimenti planetari, basati sulle osservazioni di Tycho, nei quali era occupato da molto tempo.

143. Nel 1611, il suo mecenate Rodolfo fu costretto ad abdicare alla corona imperiale in favore di suo fratello Mattia, il quale mostrava poco interessamento all'Astronomia e anche all'Astrologia; e la posizione di Keplero fu così resa più incerta che mai; aprì trattative cogli Stati dell'alta Austria, le quali ebbero per esito la promessa di un piccolo salario, a condizione di soddisfare i doveri alquanto svariati dell'insegnamento delle Matematiche alla scuola superiore di Linz, la capitale, di costrurre una nuova carta geografica della provincia e di completare le tavole planetarie. Nullameno, per ora, decise di rimanere con Rodolfo.

Nello stesso anno Keplero perdette la moglie, la quale era stata per molto tempo ammalata di mente e di corpo.

Nell'anno seguente (1612) Rodolfo morì, e Keplero quindi andò a Linz, e quivi assunse i suoi nuovi doveri, quantunque conservasse sempre l'incarico di matematico dell'imperatore e ricevesse anche, di quando in quando, una parte dello stipendio inerente a quell'ufficio. Nel 1613, prese moglie di nuovo, dopo seria ponderazione; in una lettera caratteristica, ma strana, diretta ad un suo amico, enumerava i meriti speciali di undici signore, che egli ri-

guardava come possibili; e la provvigione di una particolare quantità di vino per la sua famiglia lo condusse alla pubblicazione di un libretto di qualche interesse matematico, trattandosi del modo particolare per misurare la grandezza di una botte con i fianchi incurvati (1).

144. Negli anni 1618-1621, quantunque sieno in qualche modo gli anni più tristi della sua vita, pubblicò tre libri di importanza, un *Compendio sull'Astronomia di Copernico*, l'*Armonia del Mondo* (2) e un trattato sulle *Comete*. Il secondo e il più importante di questi, pubblicato nel 1619, quantunque l' idea fondamentale di esso fosse scoperta prima del 1618, fu considerato da Keplero come lo svolgimento del suo primitivo *Mysterium Cosmographicum* (§ 136). Il suo temperamento mistico e speculativo lo condusse quanto prima a ricercare le relazioni fra le varie quantità numeriche che s' incontrano nel sistema solare; con una felice ispirazione, tentò di ottenere la relazione che lega le grandezze delle orbite dei vari pianeti coi loro tempi di rivoluzione intorno al Sole; e, dopo diversi tentativi senza alcun successo, scoprì una semplice e importante relazione, chiamata comunemente " la terza legge di Keplero. "

I quadrati dei tempi di rivoluzione di due qualunque pianeti (compresa la Terra), *che ruotano intorno al Sole, sono proporzionali ai cubi delle loro distanze medie da esso.*

Se, per esempio, noi esprimiamo i tempi della rivoluzione nei vari pianeti in funzione di uno qualunque, che può essere convenientemente scelto quello della Terra, cioè un anno, e nello stesso tempo esprimiamo le distanze in funzione della distanza della Terra dal Sole come unità, allora i tempi di rivoluzione dei pianeti presi in quest'or-

---

(1) Contiene i principî del calcolo infinitesimale.

(2) *Harmonices Mundi Libri V.*

dine: Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, sono approssimativamente 0.24; 0.615; 1; 1.88; 11.86, 29.457 e le loro distanze dal Sole sono rispettivamente 0.387; 0.723; 1; 1.524; 5.203; 9.539; se noi prendiamo i quadrati della prima serie dei numeri (il quadrato di un numero è il numero moltiplicato per sè stesso) e i cubi della seconda serie (il cubo di un numero è il numero moltiplicato due volte per sè stesso, o il quadrato moltiplicato ancora per il numero stesso), noi otteniamo le due serie di numeri dati approssimativamente dalla tavola:

	Mercurio	Venere	Terra	Marte	Giove	Saturno
Quadrato del tempo periodico . .	0.058	0.378	1	3.54	140.7	867.7
Cubo della distanza media . . .	0.058	0.378	1	3.54	140.8	867.9

Da ciò si vede che le due serie di numeri della linea superiore e inferiore rispettivamente si accordano completamente per molte cifre decimali come sono dati, eccetto nei casi dei due pianeti più in fuori, dove i numeri più in basso superano di poco quelli corrispondenti della colonna superiore. In seguito Newton diede una spiegazione di questa discrepanza (Cap. IX, § 186); ma con la conoscenza alquanto imperfetta dei tempi di rivoluzione e delle distanze, che Keplero possedeva, la discrepanza appena si poteva avvertire, e perciò era giustificata — dal suo punto di vista — nell'enunciare la legge come “ esatta „ (1). Si osservi che la legge di Keplero non richiede cognizione alcuna delle distanze effettive dei pianeti dal Sole, ma soltanto

(1) Può essere di qualche interesse l'udire le parole di Keplero riguardanti la legge: « Res est certissima exactissimaque, quod proportionis quae est inter binorum quorumque planetarum

delle loro distanze relative, cioè, il numero delle volte che un pianeta qualunque è più lontano al Sole o più vicino al Sole di un altro. In altri termini, è necessario avere o poter costruire una carta geografica del sistema solare, esatta nelle *sue proporzioni;* ma non è affatto necessario, a questo proposito, di conoscere la *scala* di essa.

Quantunque l'*Armonia del Mondo* sia un libro voluminoso, raramente vi si riscontra qualche cosa importante, all'infuori di quanto già è stato detto. In gran parte di esso,

Fig. 62. — *La "musica delle sfere" secondo Keplero.*

(Dall'*Armonia del mondo*).

si ripetono le prime speculazioni, contenute nel *Mysterium Cosmographicum,* e nella maggior parte del rimanente si tratta delle analogie di nessun valore fra le proporzioni del sistema solare e le relazioni fra le varie scale musicali.

È cosa abbastanza ardita porre in iscritto in nero e in bianco " la musica delle sfere „ (nella forma dimostrata nella fig. 62), mentre l'assurdità che egli fosse capace di scrivere, può esser poi illustrata dall'osservazione, che si presenta nella stessa parte del libro: " La Terra canta le note *MI, FA, MI,* così che potete indovinare che in que-

---

tempora periodica, sit praecise sesquialtera proportionis mediarum distantiarum, id est orbium ipsorum » (*Armonia del Mondo,* lib. V, cap. III).

sto nostro soggiorno prevalgono la miseria (*Miseria*) e la fame (*Fames*). „

145. L'*Epitome dell'Astronomia di Copernico*, che appariva in parti nel 1618, 1620 e 1621, quantunque non sia stato trovato importante, tuttavia è uno dei più attraenti libri di Keplero, essendo singolarmente scevro dalle stravaganze, che di solito rendono gli scritti di Keplero così noiosi. Contiene, entro limiti abbastanza ristretti, in forma di domande e risposte, una storia dell'Astronomia conosciuta a quel tempo, esposta dal punto di vista copernicano; e comprende tanto le ultime scoperte di Galileo quanto quelle di Keplero. Tale libro di testo soddisfaceva ad un vero bisogno; e che ciò fosse riconosciuto tanto dai nemici quanto dagli amici, fu dimostrato dal pronto apparire nell' *Indice Romano dei libri proibiti* (Cap. VI, §§ 126, 132). L'*Epitome* contiene la prima chiara esposizione che le due leggi fondamentali del sistema planetario stabilite per il caso di Marte (§ 141) erano vere pure per gli altri pianeti (quantunque non ne fosse stata data nessuna dimostrazione soddisfacente) e che esse si applicavano pure al movimento della Luna intorno alla Terra, quantunque in questo caso vi fossero altre irregolarità che complicavano le cose. La teoria della Luna vi è esposta assai particolareggiatamente; tanto l' evezione (Cap. II, § 48), quanto la variazione (Cap. III, §, 60; cap. V, § 111), essendo pienamente ben trattate, quantunque “ l'equazione annuale, „ che Tycho ha precisamente incominciato a riconoscere alla fine della sua vita (cap. V, § 111) non vi sia discussa. Altro interessante svolgimento delle sue proprie scoperte consiste nell'aver riconosciuto che la terza legge del moto planetario si applicava pure ai movimenti dei quattro satelliti intorno a Giove, come è riferito da Galileo e da Simon Marius (Cap. VI, § 118). Keplero introdusse pure nell'*Epitome* un considerevole miglioramento nel valore ordinario della distanza della Terra

dal Sole, da cui potevano essere subito dedotti quelle degli altri pianeti.

Se, come è stato generalmente creduto dal tempo di Ipparco e Tolomeo, la distanza del Sole fosse 1200 volte il raggio della Terra, allora la parallasse (Cap. II, §§ 43, 49) del Sole sarebbe alla sua volta eguale a 3′, e quella di Marte, il quale in alcune posizioni è più vicino alla Terra, sarebbe proporzionalmente maggiore. Ma Keplero non potè scoprire nessuna parallasse di Marte, e perciò inferì che le distanze di Marte e del Sole devono essere maggiori di quelle supposte. Non avendo nessun dato esatto per andare innanzi, escogitò, con la sua immaginazione e mediante le sue idee intorno all'armonia del sistema solare, una distanza circa tre volte maggiore di quella tradizionale. Arguì che, siccome la Terra era la dimora delle misere creature, era ragionevole di attendersi che le misure del sistema solare apporterebbero qualche semplice variazione alle dimensioni della Terra. Perciò egli suppose che il volume del Sole fosse molte volte maggiore del volume della Terra, siccome la distanza del Sole era maggiore del raggio della Terra; e da questa strana ipotesi dedusse il valore della distanza già stabilita, la quale, quantunque fosse più esatta dell'antico valore, era ancora soltanto un settimo della vera distanza.

L'*Epitome* contiene pure un buon cenno degli eclissi tanto di Sole, quanto di Luna, delle cause, dei mezzi di predirli, ecc. La luce fioca (ordinariamente rossa), con cui la faccia della Luna eclissata splende sovente, si spiega esattamente con l'ammettere che la luce del Sole, attraversando l'atmosfera della Terra, è stata deviata dal suo cammino rettilineo tanto da giungere alla Luna, poichè la luce del Sole in generale, a causa della interposizione della Terra, non può arrivare ad essa. Keplero parla pure di un anello di luce intorno al Sole eclissato nel 1567, quando l'eclissi era probabilmente totale, non anulare (Cap. II,

§ 43), e lo ascrive a qualche specie di sfera luminosa intorno al Sole, riferendosi alla descrizione di Plutarco dello stesso fenomeno. Questa sembra che sia stata una prima osservazione ed una spiegazione razionale, quantunque naturalmente molto imperfetta, di quel notevole involucro solare, conosciuto col nome di *corona*, la quale ha richiamato tanta attenzione nell'ultima metà del secolo XIX (Cap. XIII, § 301).

146. Il trattato sulle *comete* (1619) contiene una relazione di una cometa vista nel 1607, poscia della famosa cometa di Halley (Cap. X, § 200) e di tre comete viste nel 1618. Seguendo Tycho, Keplero ritenne per fermo che le comete fossero corpi celesti e non terrestri, e spiegò la loro apparizione e la loro scomparsa col supporre che esse si movessero in linea retta; e perciò, dopo esser passate una volta accanto alla Terra, si allontanassero indefinitamente nello spazio; pare non sia stato fatto nessun serio tentativo per dimostrare questa teoria, confrontandola con l'osservazione, poichè egli era evidentemente di opinione che l'orbita di un corpo, il quale non riappare più, non fosse un soggetto conveniente per uno studio serio. Stabilì con l'osservazione fatta da Fracastoro ed Appiano (Cap. III, § 60) che le code delle comete son rivolte in direzione opposta al Sole, e spiegò questo fatto con la supposizione che la coda delle comete sia formata dai raggi del Sole, i quali penetrano il corpo delle comete, teoria la quale, fatta astrazione dalla diversità delle nostre ipotesi rispetto alla natura della luce, è un'anticipazione curiosamente esatta delle teorie moderne delle code delle comete (Cap. XIII, § 304).

In un libro, che doveva andare in mano al popolo, era necessario dare maggior “ *importanza* „ al significato dell'apparizione delle comete e delle loro influenze sulle cose umane; e siccome Keplero stava scrivendo, quando la Guerra dei trent'anni era proprio appena incominciata,

mentre le persecuzioni religiose e le guerre si erano succedute in Europa senza interruzione durante la sua vita, non era difficile trovare fatti impressionanti, che erano accaduti subito dopo o poco prima dell'apparizione delle comete ricordate. Keplero stesso non era evidentemente proclive ad attribuire molta importanza a tali coincidenze di eventi; egli pensò che forse il contatto reale con la coda di una cometa potesse produrre pestilenza; ma oltre a ciò non era disposto a fare più di quello che può ammettere un uomo religioso e di opinioni alquanto neutrali, cioè, che una delle missioni di una cometa è di ricordarci che siamo mortali. La sua credenza che le comete siano in gran numero è espressa in questa forma: " Vi sono molti argomenti per provare il movimento annuo della Terra intorno al Sole, come vi sono comete nei cieli ".

147. La posizione di Keplero a Linz era divenuta sempre più disagiata a causa dei crescenti disordini religiosi e politici, i quali condussero finalmente alla Guerra dei trent'anni nel 1618; ma, ciò nonostante, egli rifiutò nel 1617 l'offerta della cattedra di Matematiche a Bologna, in parte perchè era affezionato al suo paese nativo, in parte per la ben fondata diffidenza del partito papale in Italia. Tre anni dopo rifiutò pure le proposte fatte dall'ambasciatore inglese con l'intendimento di assicurarlo come lustro alla corte di Giacomo I; uno dei principali motivi in questo caso di rifiuto fu il dubbio se egli non potesse sopportare di trovarsi come in prigione entro i confini di un'isola. Nel 1619, l'imperatore Mattia morì e gli successe Ferdinando II, il quale, come arciduca, aveva fatto cessare le persecuzioni dei protestanti a Gratz (§ 137), ma si interessava ben poco della scienza. Keplero fu, nonostante, dopo qualche indugio, confermato nella sua carica di Matematico dell'Impero. Nel 1620, Linz fu occupata dalle truppe imperiali e nel 1626 l'oppressione dei protestanti,

da parte dei cattolici romani, fu tale, che Keplero pensò di abbandonarla e, dopo aver mandato la sua famiglia a Regensburg, andò egli stesso ad Ulm.

148. Ad Ulm Keplero pubblicò la sua più grande opera. Per più di un quarto di secolo aveva studiato indefessamente e in particolare sulla base delle osservazioni di Tycho e delle sue teorie, i movimenti dei corpi celesti, esprimendo i risultati in forma di tavole sì convenienti, che la determinazione della posizione di qualunque corpo in un tempo richiesto qualunque, come pure la investigazione di altri eventi astronomici come gli eclissi, divennero puramente oggetto di calcolo secondo regole fisse. Questo grande assunto che in qualche modo riuniva l'opera sua a quella di Tycho, fu finalmente pubblicato nel 1627 col titolo di *Tavole Rodolfine* (il nome essendo stato dato in onore del loro primo mecenate) e rimasero, per circa un secolo, le tavole astronomiche classiche.Dopo aver finito le tavole, Keplero ebbe per molto tempo l'intenzione di scrivere un trattato completo sull'Astronomia, che doveva essere chiamato il *Nuovo Almagesto;* ma questo progetto non fu mai propriamente incominciato e molto meno ancora continuato.

149. Dopo diversi tentativi senza successo per assicurare gli arretrati del suo stipendio, gli fu detto di ricorrere a Wallenstein, il famoso generale dell'Impero, allora stabilitosi in Slesia in una posizione semi-indipendente, il quale si interessava assai di Astrologia, e perciò chiamava a sè abitualmente uno o più cultori di essa. Perciò Keplero raggiunse Wallenstein nel 1628, e fece l'astrologia per lui; scrivendo per di più alcuni minori trattati astronomici e astrologici. Nel 1630, si recò a Regensburgo, dove la Dieta aveva la sua sede, per sollecitare in persona i suoi diritti per i varî arretrati del suo stipendio; ma, stanco per l'ansietà e per le fatiche del viaggio, fu preso dalla febbre e morì il 15 novembre 1630, nell'età di 59 anni.

L' inventario della sua proprietà, fatto dopo la sua morte, dimostrò che egli era in possesso di un rilevante capitale; quindi i lagni sulla sua estrema povertà, manifesti nelle sue lettere, devono considerarsi in gran parte dovuti al suo temperamento eccitabile e ansiosissimo.

150. Oltre alle grandi scoperte già menzionate, Keplero offrì un bel numero di contribuzioni nell'Astronomia, e per i nuovi metodi di trovare la longitudine e per varî perfezionamenti nei metodi di calcolo, richiesti per i problemi astronomici. Formulò pure teorie di qualche interesse sulle possibili cause, su cui si fondano i movimenti celesti conosciuti. Siccome il sistema Tolemaico richiedeva parecchi moti intorno a meri punti geometrici, centri di epicicli od eccentri, equanti, ecc., non occupati da nessun corpo reale e siccome molti di tali movimenti erano ancora richiesti da Copernico, Keplero, con il suo sistema solare, collocò un corpo reale, il Sole, nel punto più importante collegato all'orbita di ciascun pianeta e in relazione pure col moto della Luna intorno alla Terra e con quello dei quattro satelliti intorno a Giove. I movimenti di rivoluzione venivano infatti ad essere associati non con qualche *punto* centrale, ma con qualche *corpo* centrale, e diventava perciò una ricerca importante l'accertare se vi poteva essere un legame fra il movimento e il corpo centrale. La proprietà che ha una calamita di attirare un pezzo di ferro che trovasi ad una piccola distanza da esso, suggerì a Keplero una possibile analogia, poichè aveva letto con cura il Trattato *Sulla calamita* (*De Magnete*), pubblicato nel 1600 dall' inglese Guglielmo Gilbert di Colchester (1540-1603). Egli suggerì l' idea che i pianeti potessero in tal modo considerarsi come collegati al Sole, e perciò partecipassero in gran parte del movimento proprio di rivoluzione del Sole. In altre parole una certa “ virtù innata „ si spandeva fuori del Sole coi raggi, oppure simile

ai raggi di luce e di calore, e tentava di portare i pianeti in giro col Sole.

" Perciò qui havvi un contrasto fra il potere attraente del Sole e l'impotenza od inerzia materiale del pianeta; ciascuno gode in qualche misura della vittoria; poichè il primo smuove il pianeta dalla sua posizione e l'ultimo libera il corpo del pianeta dai legami, in cui è così tenuto....; ma soltanto per essere catturato da un'altra parte di questa virtù rotatoria „ (1).

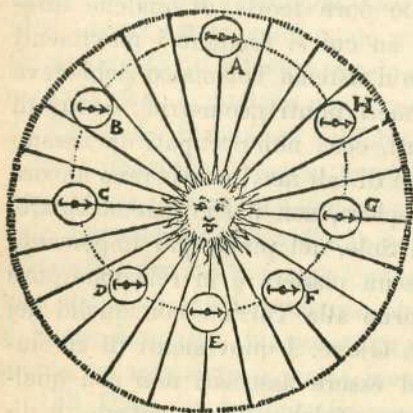



Fig. 63. — *Idea di Keplero sulla gravità.* (Dall' *Epitome*).

Questo disegno qui unito (fig. 63) è dato da Keplero per illustrare un po' la confusa e vaga teoria.

Egli credeva pure in una " gravità „ più generale, che definiva un' affezione corporale (2) fra i diversi corpi collegati, tendenti verso la loro unione o congiunzione „; e considerava le maree come dovute ad una azione di questa specie fra la Luna e l'acqua della Terra. Ma le idee speculative così presentate, che è possibile riguardare come anticipazioni della scoperta della legge della gravitazione universale di Newton, non erano in nessun modo svolte logicamente, e le idee meccaniche di Keplero erano troppo imperfette per poter fare un reale progresso su questa via.

151. Vi sono ben pochi astronomi, sui meriti dei quali

---

(1) *Epithome*, libro IV, parte 2ª.

(2) Introduzione ai *Commentari sui movimenti di Marte.*

si sia discusso, quanto su quelli di Keplero. È vero che havvi perfetto accordo nel giudicare assai importanti tanto le sue tre leggi sul moto planetario, quanto il valore reale delle *Tavole Rodolfine* ed altre minori scoperte. Questi risultati per altro occupano solo una piccola parte dei voluminosi scritti di Keplero, che sono ingombri di molte ed inutili speculazioni, di idee mistiche e fantastiche, di Astrologia, di profezie vane e simili, che non sono solamente di alcun valore dal punto di vista dell'Astronomia moderna, ma che — diversamente da molte erronee od imperfette speculazioni — in nessun modo s'incamminavano verso la direzione, in cui la scienza era prossima a fare de' progressi; e debbono essere apparsi quasi come cosa malsana ai suoi contemporanei ben pensanti, pari a Galileo ed a noi. Perciò, a mano a mano che si passa, leggendo, da un capitolo all'altro, senza incontrare un'idea esatta o chiara, è impossibile non dolersi che l'intelligenza di Keplero sia stata così malamente spesa; e non è difficile talvolta di sospettare che alcuni dei risultati apprezzabili, che si trovano avviluppati in quella grande farragine di strane speculazioni, egli non abbia ottenuti per mero caso. D'altra parte non si deve dimenticare che tali avvenimenti accadono solo ai grandi uomini, e che se Keplero amava di frenare la sua immaginazione, era egualmente impressionato dalla necessità di paragonare scrupolosamente i risultati speculativi coi fatti osservati, e di abbandonare senza esitazione gran parte delle sue predilette illusioni, qualora esse non fossero atte a sostenere questa prova. Se Keplero avesse bruciato i tre quarti di quanto aveva pubblicato, noi ci saremmo formati, senza dubbio, un'eccellente opinione della sua perspicacia intellettuale e del suo modo sobrio di giudicare; ma avremmo perduto in gran parte l'impressione del suo straordinario entusiasmo ed assiduità, e di quella quasi incomparabile sua altezza intellettuale, di cui noi ora possiamo renderci persuasi con lo studio delle sue opere.

CAPITOLO VIII.

Da Galileo a Newton.

> Ed ora il meraviglioso telescopio, la scala
> Con cui essi si avventurano, assalendo il cielo stesso,
> Era sôrto, e ben lo dissero verso la Luna.
>
> HUDIBRAS.

152. Fra la pubblicazione di Galileo le *Due nuove Scienze* (1638) e quella di Newton i *Principia* (1687) trascorse un periodo di quasi mezzo secolo, durante il quale nessuna scoperta astronomica di primaria importanza fu pubblicata, ma fu fatto invece un costante progresso su traccie già precedentemente stabilite. Da un lato, mentre l'impulso di osservazioni esatte dato da Tycho Brahe non era del tutto scomparso, l'invenzione del telescopio e il suo graduale perfezionamento, aprirono un vasto campo a possibili scoperte di nuovi e interessanti corpi celesti; dall'altra il notevole carattere delle tre leggi, nelle quali Keplero aveva riassunto le proprietà principali del moto planetario, non poteva a meno di suggerire all'astronomo intelligente la domanda, *perchè* queste leggi si dovrebbero ammettere, o, in altri termini, si era stimolati alla ricerca della possibilità di riguardarle come necessarie conseguenze di qualche legge più semplice e più fondamentale, mentre che le ricerche di Galileo intorno alle leggi del moto, rendevano possibile stabilire qualche nesso fra le cause che producono questi moti celesti, e quelli degli ordinari corpi terrestri.

153. È già stato detto come Galileo fosse seguíto da vicino da altri astronomi (se non in certi casi effettivamente preceduto) in moltissime delle sue scoperte telescopiche. Al suo rivale Cristoforo Scheiner (Cap. VI, §§ 124, 125) appartiene il merito di avere scoperto nel Sole la presenza di brillanti macchie simili ad oggetti, visibili più che altro al suo orlo, e per la loro lucentezza chiamate *facule* (piccole faci, facelle). Scheiner fece altresì una serie estesissima ed importantissima di osservazioni sulla presenza delle macchie e sui loro movimenti.

Lo studio della superficie della Luna fu fatto con molta cura da Giovanni Hevel di Danzica (1611-1687), il quale pubblicò, nel 1647, la sua *Selenografia*, o “ Descrizione della Luna, „ stupendamente illustrata da tavole egualmente disegnate e incise da lui stesso. I caratteri principali della Luna, montagne, crateri, e quegli spazi oscuri che vi si vedono e che son creduti mari, furono sistematicamente descritti e indicati con nomi, per la maggior parte dietro a figure consimili della nostra Terra. I nomi di Hevel per le principali catene di monti, p. es., gli Appennini e le Alpi, e pei mari, p. es., *Mare Serenitatis* od “ Oceano Pacifico „, hanno durato fino ai nostri giorni; ma i nomi simili dati da lui a semplici montagne e crateri non si usano più; e presentemente sono chiamati coi nomi di uomini di scienza o filosofi, come Platone e Copernico, concordemente ad un sistema introdotto da *G. B. Riccioli* (1598-1671) nel suo voluminoso trattato di Astronomia, chiamato il *Nuovo Almagesto* (1631).

Hevel, che era un lavoratore instancabile, pubblicò grossi volumi sulle Comete: *Prodromus Cometicus* (1654) e la *Cometografia*, contenenti le prime descrizioni sistematiche di tutte le comete conosciute. Egli compilò altresì un catalogo di circa 1500 stelle, osservate in complesso con accuratezza maggiore di quella di Tycho, quantunque ancora senza l'aiuto del telescopio; egli pubblicò inoltre

una serie migliorata di tavole del Sole e moltissimi e diversi altri calcoli ed osservazioni.

154. I pianeti furono pure scrutati con interesse da un certo numero di osservatori, i quali svelarono in varî tempi, macchie ora brillanti, ora oscure in Giove, Marte e Venere. I due satelliti di Saturno, che Galileo scoprì nel 1610 e che due anni più tardi non potè più riconoscere (Cap. XII, § 123), furono veduti e descritti da parecchi astronomi, sotto una ingombrante varietà di configurazioni veramente imbarazzanti, e il mistero fu rivelato soltanto mezzo secolo dopo il primo esame di Galileo, dal più grande astronomo di questo periodo *Cristiano Huygens* (1629-1695) nato ad Aja. Huygens possedeva notevoli qualità pratiche e teoriche in molte discipline; e le contribuzioni da lui date all'Astronomia non sono state che una piccola parte dei servigî resi alla scienza. Avendo acquistato l'arte di arrotare le lenti con una esattezza non comune, egli fu in grado di fabbricare telescopi in potenza assai superiori a quelli dei suoi predecessori. Con l'aiuto di uno di questi strumenti, scoprì nel 1655, un satellite di Saturno (*Titano*). Per un resto di misticismo medioevale, dal quale anche i più equilibrati di mente con fatica allora si liberavano, egli asseriva che, siccome il numero totale dei pianeti e satelliti ora raggiungeva il numero perfetto di 12, perciò nessun altro ne rimaneva a scoprire, profezia che è stata dipoi ampiamente smentita (§ 160; Cap. XII, §§ 233, 235; Cap. XIII, §§ 289, 294, 295).

Adoperando un telescopio ancor più perfetto, e aiutato dal suo acume nell'interpretare le sue proprie osservazioni, Huygens fece l'interessantissima scoperta che le dubbiose figure vedute intorno a Saturno erano dovute a un sottile anulare (fig. 64) inclinato di un angolo considerevole (da lui valutato 31°) sul piano dell'eclittica e perciò anche sul piano dell'orbita descritta da Saturno intorno al

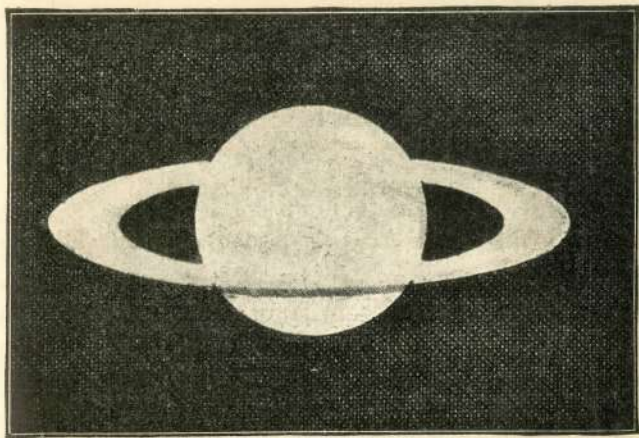



Fig. 64. — *Anello di Saturno secondo il disegno di Huygens.*
(Dal *Systema Saturnium*).

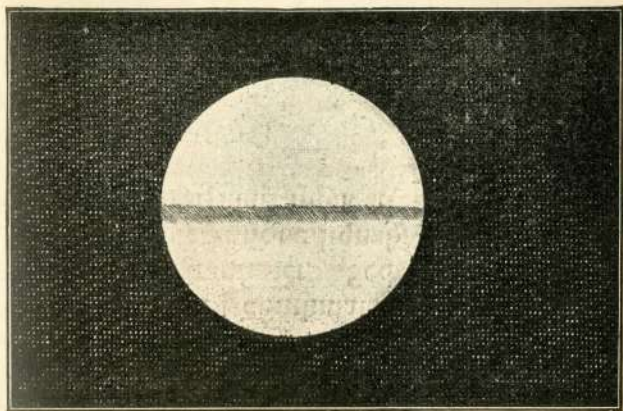



Fig. 65. — *Saturno, con l'anello veduto per lo spessore.*
(Dal *Systema Saturnium*).

Sole. Tal risultato fu primieramente annunziato — secondo certi curiosi sistemi del tempo — da un anagramma, nello stesso opuscolo nel quale fu pubblicata la scoperta del satellite, *De Saturni Luna Observatio Nova* (1656); e tre anni dopo (1659) comparve il grande *Systema Saturnium*, nel quale era data l'interpretazione dell'anagramma, e le diverse forme furono vedute tanto da lui quanto da altri precedenti osservatori, e spiegate con mirabile lucidità e profondità. L'anello essendo estremamente sottile è invisibile, vuoi se l'orlo è dalla parte dell'osservatore, vuoi se è dalla parte del Sole, poichè in quest' ultima posizione il resto dell'anello non è illuminato. Due volte nel corso della rivoluzione di Saturno intorno al Sole (in *B* e *D* nella fig. 66), cioè a intervalli di circa 15 anni, il piano dell'anello passa

Fig. 66. — *Le fasi dell'anello di Saturno.* — (Dal *Systema Saturnium*).

per un breve tempo attraverso o molto vicino tanto alla Terra quanto al Sole, e in questi due periodi l'anello è per conseguenza invisibile (fig. 65). Vicino a queste posizioni (come in *Q, R, S, T*) l'anello apparisce molto raccorciato, e prende l'aspetto di due braccia sporgentisi dal corpo di Saturno; quando è più lontano l'anello apparisce più grande e l'apertura si rende visibile; e circa sette anni avanti e dopo i periodi d'invisibilità (in *A* e *C*) l'anello è veduto nella sua maggior larghezza. Huygens dà, come confronto dei suoi propri risultati, diversi disegni di osservatori antecedenti (riprodotti nella fig. 67), dai quali può vedersi come alcuni di essi fossero vicini alla scoperta dell'anello.

155. All' inglese *Guglielmo Gascoigne* (1612?-1644) è dovuta la priorità che il telescopio poteva essere utilizzato non solamente per osservare le forme in generale dei corpi celesti, ma anche come strumento di precisione da poter dare le direzioni delle stelle, ecc., con maggior precisione che non sia possibile ad occhio nudo e che poteva ingrandire i piccoli angoli in tal maniera da facilitare la misura delle distanze angolari fra stelle vicine, del diametro dei pianeti, e di altre simili quantità. Disgraziatamente fu ucciso ancor giovanissimo alla battaglia di Marston Moor (1644); ma le sue lettere, pubblicate molti anni dopo, mostrano che nel 1640 l'uso delle lenti telescopiche gli era famigliarissimo per determinare con esattezza la posizione delle stelle, e che aveva costruito uno strumento chiamato *Micrometro* (1), col quale potè misurare angoli di pochi secondi. In quel tempo nulla si conosceva delle sue scoperte, e fu Huygens l'inventore di un Micrometro assai inferiore (1683) e Adriano Auzout (? 1691), quello che

---

(1) Sostanzialmente il *Micrometro filare* dell'Astronomia moderna.

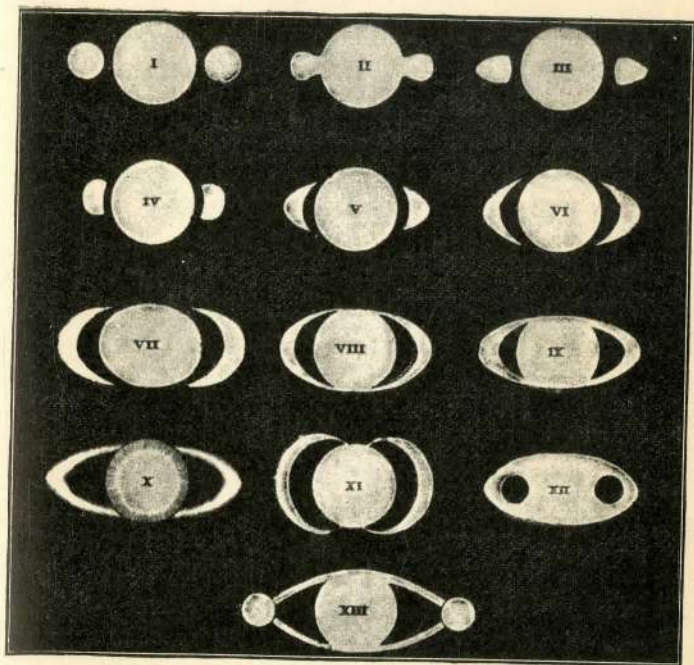
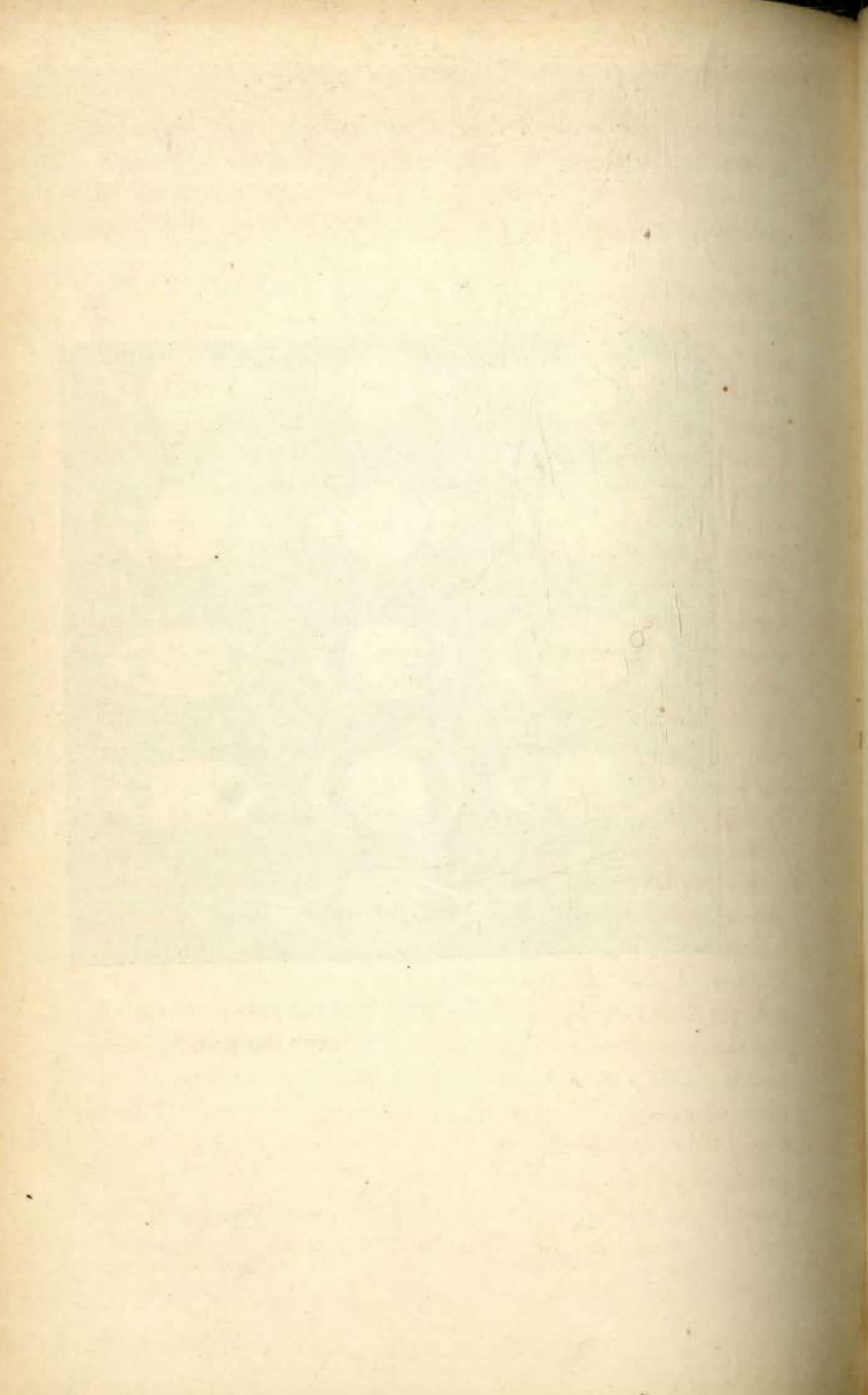



Fig. 67. — *Disegni primitivi di Saturno.*

(Dal *Systema Saturnium*).

presentò a titolo di reale progresso (circa il 1666) uno strumento quasi uguale a quello di Gascoigne.

L'uso sistematico dei telescopi astronomici, per il lavoro giornaliero di un Osservatorio, fu introdotto circa il 1667 dall'amico e collega di Auzout, Giovanni Picard (1620-1682).

156. Insieme a Gascoigne sarebbe uopo menzionare il suo amico *Geremia Horrocks* (1617?-1641), che era un fervente ammiratore di Keplero, e aveva fatto rilevanti progressi nella teoria della Luna, prendendo l'orbita ellittica come base, d'onde un numero minore di irregolarità. Egli fu il primo ad osservare un passaggio di Venere, cioè il passaggio di Venere sopra il disco solare, che si verificò nel 1639, contrariamente alle predizioni di Keplero nelle *Tavole Rodolfine*, ma in accordo con le tavole della medesima importanza di *Filippo von Lansberg* (1561-1632), le quali Harrocks aveva a tale scopo verificate. Nondimeno fu molto tempo dopo che Halley mostrò l'importanza del passaggio di Venere come mezzo per determinare la distanza del Sole dalla Terra (Cap. V, § 202). È altresì degno di nota che Horrocks suggerì che le probabili irregolarità del moto della Luna fossero dovute all'azione perturbatrice del Sole, e che egli abbia avuto pure qualche sospetto di certe irregolarità nei movimenti di Giove e di Saturno, irregolarità che ora si attribuiscono alla loro reciproca attrazione. (Cap. X, § 204, Cap. XI, § 243).

157. Un'altra scoperta di Huygens portò la rivoluzione nell'arte delle esatte osservazioni astronomiche; fu l'invenzione del pendolo da orologio (fatta nel 1656 e brevettata nel 1657). Abbiamo detto come la stessa scoperta fosse stata fatta dal Bürgi, ma virtualmente perduta (vedi Cap. X, § 98) e come Galileo introducesse nuovamente il pendolo come misuratore del tempo (Cap. VI, § 114). Il pendolo di Galileo, per altro, non poteva essere adoperato che per misurare corti intervalli di tempo, come quello

che non aveva in sè nessun meccanismo per far continuare il movimento, e questo perciò presto cessava. Huygens attaccò il pendolo ad un orologio mosso da pesi, così che l'orologio manteneva l'andatura del pendolo, e il pendolo regolava l' orologio (1). Da quel momento in poi fu possibile di fare delle osservazioni di tempo relativamente esatte approfittando del moto uniforme della sfera celeste da est ad ovest, e poi, notando i tempi dei passaggi di due stelle in meridiano, si potè avere la differenza di posizione di esse nel senso est-ovest. E di nuovo fu Picard (§ 155) che primo rivelò l' importanza astronomica di questa scoperta e introdusse osservazioni regolari di tempo nell'Osservatorio di Parigi.

158. Huygens non si contentò di questo uso pratico del pendolo, ma realizzò nel suo trattato, chiamato *Oscillatorium Horologium* o l' " Orologio a pendolo „ (1673) una infinità di risultati importanti sulla teoria del pendolo e sui problemi attinenti al moto dei corpi in circoli o in altre curve. La maggior parte di queste investigazioni sono fuori del campo astronomico; ma la sua formula, che lega la durata dell'oscillazione di un pendolo alla lunghezza del pendolo medesimo ed all' intensità della gravità (2) (o, in altre parole, il valore della caduta di un corpo pesante), offriva un mezzo pratico per misurare la gravità, di gran lunga superiore in esattezza a qualunque speciale esperimento sulla caduta dei corpi; ed il suo studio sul movimento circolare, onde risulta che un corpo, moventesi circolarmente deve aver ricevuto questo moto da una forza verso *il centro,* l' intensità del quale dipendeva

(1) Galileo, verso la fine della sua vita, sembra avesse avuto l' idea di applicare il pendolo all'orologio, ma non si può ritenere per certo che egli abbia mai messo in pratica la sua idea.

(2) Secondo l'uso moderno:
il tempo delle oscillazioni $= 2\pi . \sqrt{l/g}$.

certamente dalla velocità del corpo e dalla grandezza del circolo (1), è di importanza capitale, rispetto ai moti planetari prodotti dalla gravitazione.

159. Durante il secolo XVII furono pure fatte diverse misure della Terra, che rappresentarono un progresso rispetto a quelle fatte dai Greci e dagli Arabi (Cap. II, §§ 36, 45, e Cap. III, § 57). *Willebrord Snell* (Snellio) (1591-1626), meglio conosciuto per la sua scoperta sulle leggi della rifrazione della luce, fece una serie di misure in Olanda, nel 1617, dalle quali la lunghezza di un grado di meridiano veniva ad essere circa 67 miglia; valore che dipoi fu portato a 69 miglia da uno dei suoi allievi, che corresse alcuni errori di calcolo; e questo risultato si approssimava al valore ora accertato con un errore di poche centinaia di piedi. Dipoi *Richard Norwood* (1590?-1675) misurò la distanza fra Londra e York, ed ottenne (1636) la lunghezza del grado con un errore minore di mezzo miglio. nfine Picard nel 1671 fece alcune osservazioni presso Parigi, le quali condussero a un risultato errato solo di qualche metro. Essendo conosciuta la lunghezza di un grado, la circonferenza e il raggio della Terra sferica si possono subito determinare.

160. *Auzout* e *Picard* facevano parte di un gruppo di astronomi osservatori che lavoravano a Parigi; del qual gruppo il più conosciuto, e realmente il più grande, era *Giovanni Domenico Cassini* (1625-1712). Nato nel nord d' Italia acquistò gran rinomanza, parte per qualche metodo abbastanza fantastico per la costruzione d' istrumenti giganteschi, e parte per la scoperta della rotazione di Giove (1665), di Marte (1666) e forse anche di Venere (1667), e anche per le tavole sui movimenti dei satelliti di Giove (1668). Quest'ul-

(1) Cioè egli ottenne la formula comune $\frac{v^2}{r}$ e diverse formule equivalenti per la *forza centrifuga*.

timo lavoro diede occasione a Picard di procurargli l'invito da parte di Luigi XIV (1666) di recarsi a Parigi ad assumere la generale sopraintendenza dell'Osservatorio, che stavasi allora costruendo e che fu condotto a termine nel 1671. Il Cassini era un acuto osservatore e un fecondo scrittore, con speciali attitudini da fare impressione tanto al pubblico scientifico, quanto alla Corte. Aveva un alto concetto di sè stesso come della sua opera; però è da assodarsi se possedesse idee chiare, come Picard, sui lavori veramente importanti da eseguirsi. Ma nonostante questi difetti, egli rese segnalati servigi a varî rami dell'Astronomia. Scoperse quattro nuovi satelliti di Saturno, *Iapetus* nel 1671, *Rhea* l'anno seguente, *Dione* e *Thetys* nel 1684; avvertì pure, nel 1675, una macchia bruna nell'anello di *Saturno*, la quale è stata dipoi più distintamente riconosciuta per una divisione dell'anello in due anelli, l'uno interno e l'altro esterno, ed è conosciuta col nome di *Divisione del Cassini* (vedi fig. 95). Egli altresì aggiunse nuove nozioni alla teoria del Sole, fece nuovi calcoli sulla rifrazione atmosferica, che costituì un progresso su quella di Keplero (Cap. VIII; § 138), e pubblicò nel 1693 una nuova serie di tavole sui satelliti di Giove, che erano assai più esatte di quelle da lui pubblicate nel 1668, e le migliori allora esistenti.

161. Fu probabilmente dietro suggerimento di Picard o di Cassini, che uno dei loro colleghi in Astronomia, Giovanni Richer (?-1696), fin allora affatto sconosciuto, intraprese (1671-1673) la spedizione scientifica di Cajenna (in lat. 5° N.), dalla quale si ebbero due grandi risultati. Fu trovato che il pendolo di data lunghezza oscillava più lentamente a Caienna che a Parigi, addimostrando così che la gravità era minore verso l'equatore che nelle alte latitudini. Questo fatto suggerì l'idea che la Terra non era una perfetta sfera, e se ne tenne conto dipoi per certe teoriche investigazioni sul problema della forma della Terra (cfr.

Cap. IX, § 187). Inoltre le osservazioni di Richer sulla posizione di Marte nel cielo, combinate con le osservazioni fatte nello stesso tempo dal Cassini, dal Picard e da altri in Francia, condussero a sufficiente determinazione della distanza di Marte, e perciò di quella del Sole. Marte era in quel tempo in opposizione (Cap. II, § 43); dimodochè era più vicino alla Terra che in altri tempi (come si può vedere nella fig. 68) e perciò posto in posizione favorevole per tali osservazioni. Il principio del metodo è estremamente semplice e sostanzialmente identico a quello praticato da lungo tempo per la Luna (Cap. II, § 49). Un osservatore è, per es., a Parigi (*P* nella fig. 69) ed osserva la direzione, nella quale apparisce Marte, cioè, la direzione della retta *P M*, l'altro a Cajenna (*C*) osserva lo stesso la direzione della retta *C M*. La retta *C P*, che unisce Parigi

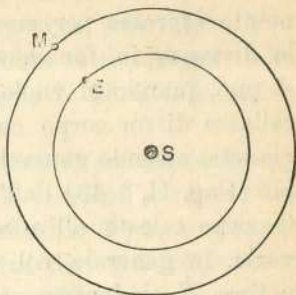



Fig. 68. — *Marte in opposizione.*

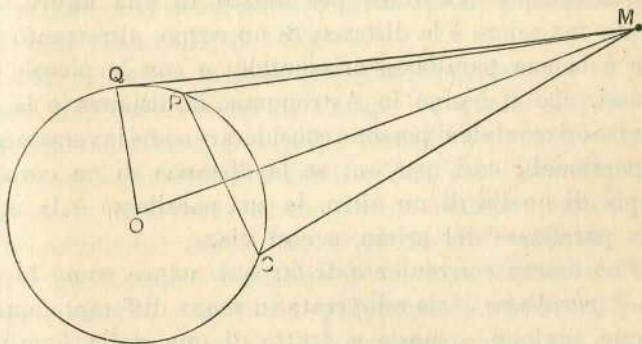



Fig. 69. — *La parallasse di un pianeta.*

a Cajenna, è geograficamente conosciuta; la figura del triangolo *C P M* e la lunghezza di uno de' suoi lati es-

sendo conosciuti, la lunghezza degli altri lati si può facilmente calcolare.

Il risultato di una tale ricerca è sovente convenientemente espresso per mezzo di un certo angolo, dal quale la distanza in funzione del raggio della Terra, e perciò si può, quando si vuole, subito dedurre in miglia. La parallasse di un corpo celeste come la Luna, il Sole o un pianeta, essendo generalmente determinata nel primo esempio (Cap. II, § 43) dall'angolo *O M P* delle congiungenti il corpo celeste all'osservatore ed al centro della Terra, varia, in generale, col variare della posizione dell'osservatore. È evidentemente maggiore quando l'osservatore è in tal posizione come in *Q* e la retta *M Q* è tangente alla Terra; in tal posizione *M* è all'orizzonte dell'osservatore. Oltre a ciò l'angolo *O Q M* essendo retto, la forma del triangolo e il rapporto fra i suoi lati sono perfettamente conosciuti, quando l'angolo *O M Q* è noto. Poichè quest'angolo è la parallasse di *M*, quando esso è sull'orizzonte dell'osservatore, è chiamata *la parallasse orizzontale* di *M;* ma la parola orizzontale è spesse volte omessa. Si può facilmente accertare per mezzo di una figura che quanto maggiore è la distanza di un corpo, altrettanto minore è la sua parallasse orizzontale; e con le piccole parallassi, che si hanno in Astronomia, la distanza e la parallasse orizzontale si possono considerare come inversamente proporzionali; così, per es., se la distanza di un corpo è doppia di quella di un altro, la sua parallasse è la metà della parallasse del primo, e così via.

Può essere conveniente di far qui notare come la parola " *parallasse* " sia adoperata in senso differente, quantunque analogo, quando si tratta di una stella fissa. Lo spostamento apparente di una stella fissa, dovuto al moto della Terra (Cap. IV, § 92), che non fu effettivamente scoperto che molto dopo (Cap. XIII, § 278), è chiamata *parallasse stellare o annuale* (l'aggettivo è spesso trala-

sciato), e il nome è applicato particolarmente all'angolo massimo fra la direzione della stella veduta tanto dal Sole, quanto è veduta dalla Terra, nel corso di un anno. Se nella fig. 69, *M* per noi rappresenta una stella, *O* il Sole e la circonferenza come se fosse la traiettoria della Terra intorno al Sole, allora l'angolo *O M Q* è la parallasse di *M*.

In questo caso particolare, il Cassini dedusse dalle osservazioni di Richer, per mezzo di processi alquanto incerti, che la parallasse del Sole era circa 9″, 5, corrispondente ad una distanza dalla Terra di circa 87,000,000 miglia, ossia 360 volte la distanza della Luna; mentre il calcolo moderno, secondo le ultime indagini (Cap. XIII, § 284), dà poco meno di 93,000,000. Quantunque ciò non fosse un risultato proprio esatto, pure rappresentava un progresso enorme su tutto ciò che era stato creduto innanzi, poichè il valore della distanza del Sole, dato da Tolomeo, corrispondeva ad una parallasse di 3′, valore adottato fino alla prima metà del secolo XVII; e benchè fosse in generale creduto affetto da forte errore, tuttavia molte delle correzioni ad esso fatte, furono puramente congetturali (Cap. VII, § 145).

162. Un'altra famosa scoperta, appartenente ai primi tempi dell'Osservatorio di Parigi, fu quella intorno alla velocità della luce. Nel 1671, Picard visitò la Danimarca per vedere che cosa era rimasto di Tycho Brahe nell'Osservatorio di Hveen; al suo ritorno condusse seco un giovane astronomo *Olaus Roemer* (1644-1710) per suo aiuto a Parigi. Roemer, studiando il movimento dei satelliti di Giove, osservò (1675) che gli intervalli fra i successivi eclissi di un satellite (l'eclisse essendo cagionato dal passaggio del satellite nell'ombra di Giove) erano regolarmente minori quando Giove e la Terra si avvicinavano fra loro, che allorquando si allontanavano. Egli vide che ciò si poteva facilmente spiegare, supponendo che la luce

attraversi lo spazio con una velocità determinata, quantunque grandissima. Così, se Giove si avvicina alla Terra, il tempo che la luce di uno de' suoi satelliti impiega per raggiungere la Terra, è gradualmente decrescente, e, per conseguenza, l'intervallo fra i successivi eclissi, veduti da noi, va apparentemente diminuendo. Dalla differenza di questi intervalli così osservati e la nota velocità del movimento di Giove e della Terra, fu possibile ottenere un primo valore della velocità della luce. Anche Roemer fece diversi perfezionamenti strumentali, ma sono di carattere affatto tecnico, e perciò non da discutersi qui.

163. Un gran nome appartenente al periodo trattato in questo capitolo, ci rimane da ricordare: quello di *Renato Descartes* (1) (1596-1659). Quantunque egli appartenga piuttosto alla schiera dei grandi filosofi, ed abbia fatto fare importantissimi progressi alle Matematiche, purnondimeno i suoi scritti sull'Astronomia sono di poco valore, se non si vuol dire anche in qualche rispetto realmente dannosi. Ne' suoi *Principii di filosofia* (1644), egli diede, insieme a proposizioni assolutamente erronee, una più ampia e più particolareggiata esposizione delle prime leggi sul moto, scoperte da Galileo (Cap. VI, §§ 130, 133); ma non l'avvalorò con nessun fatto evidente. Lo stesso libro conteneva una esposizione della sua famosa teoria sui vortici, che rappresentava un tentativo per spiegare i movimenti dei corpi del sistema solare, mediante una combinazione di vortici o gorghi. La teoria non era appoggiata da nessuna prova sperimentale, e non era abbastanza esattamente formulata da sostenere il confronto con le attuali osservazioni; e, dissimile a molte teorie sbagliate (come gli epicicli dei Greci), essa in nessun modo suggeriva o mostrava la via alle più fondate e veridiche teorie venute in seguito. Ma il " Car-

---

(1) Conosciuto anche sotto il nome latino di *Cartesius*.

tesianismo, „ sia nella filosofia che nelle scienze naturali, divenne popolarissimo, specialmente in Francia, e la sua voga contribuì grandemente ad abbattere l'autorità di Aristotile, di già scossa da pensatori come Galileo e Bacone; e in tal modo apparecchiò le menti umane a ricevere nuove idee; e in questa maniera, sia indirettamente, sia per via di scoperte matematiche, Descartes contribuì, in qualche modo, al progresso astronomico.

CAPITOLO IX.

Gravitazione universale.

> La Natura e le sue leggi si nascondevano nella notte; Dio disse: « Ecco Newton! » e tutto fu luce.
> POPE.

164. La vita di *Newton* può essere convenientemente divisa in tre parti. I primi ventidue anni (1643-1665) di gioventù passano senza che egli ottenesse nessun titolo accademico, dipoi seguì il periodo di produttività quasi altrettanto lungo quanto il primo, coronato dalla pubblicazione dei *Principia* nel 1687; mentre il resto della sua vita, un periodo quasi lungo quanto i due primi insieme, fu quasi totalmente occupato in lavori ufficiali e studi di genere non scientifico, e non vi fu in esso nessuna scoperta da potersi paragonare a quelle fatte nel periodo di mezzo, quantunque alcuni dei lavori eseguiti precedentemente ricevessero in quel tempo importanti sviluppi e fossero ottenuti parecchi nuovi risultati di vero interesse.

165. Isacco Newton nacque a Woolshorpe presso Granham in Lincolnshire il 4 gennaio 1643 (1), cioè quasi un anno

(1) Secondo il calendario non riformato (VS.) allora in uso in Inghilterra, la data coincideva col giorno di Natale 1642. Per facilitare i paragoni con avvenimenti allora accaduti in Inghilterra, ho usato in questo capitolo e nei seguenti il Calendario Gregoriano (NS.) che era in quel tempo adoperato nella maggior parte del continente (cfr. Cap. II, § 2).

dopo la morte di Galileo, e pochi mesi dopo il principio della nostra guerra civile. Non sembra che l'inclinazione per gli studi prendesse in lui un grande sviluppo nei primi anni della sua vita; ma più tardi divenne così marcata, che dopo aver cercato invano di farne un fittaiolo, fu fatto entrare nel Collegio della Trinità a Cambridge nel 1661. Benchè dapprincipio fosse piuttosto al disotto degli altri studenti, fece però rapidi progressi nelle Matematiche e negli studi affini, e mise in grande imbarazzo i suoi insegnanti per la rapidità con la quale assimilava quel poco che essi sapevano. Egli potè avere tra mani gli *Elementi di Geometria di Euclide* per la prima volta, mentre un suo compagno di studi li aveva, si dice subito, abbandonati come un “ libro da nulla „ per darsi ad una lettura più elevata. Nel gennaio del 1665, ottenne il titolo di baccelliere.

166. Gli avvenimenti della vita pubblica di Newton durante i ventidue anni successivi possono essere rapidamente scorsi. Fu eletto membro nel 1667, divenne *Artium magister,* come gli spettava, l'anno seguente, e fu nominato professore Lucasiano di Matematiche, successo al suo amico Isacco Barrow nel 1669. Tre anni dopo fu eletto membro della Società Reale, recentemente fondata. Ad eccezione di poche visite al suo paese di Lincolnshire, pare che egli abbia passato quasi tutto questo periodo di tempo nei quieti studi di Cambridge, e la storia della sua vita è quasi esclusivamente la storia delle sue continue scoperte.

167. Il suo lavoro scientifico si riassume in tre gruppi principali: Astronomia (la dinamica inclusa), Ottica e Matematiche pure. Egli spese altresì una buona parte del tempo in lavori sperimentali di Chimica, come pure sul calore, e altri rami della Fisica e nell'ultima parte della sua vita si dedicò molto a questioni cronologiche e teologiche: in nessuna però di queste scienze ottenne risultati di qualche mportanza.

168. Volendo formarsi un criterio del genio di Newton, è cosa importantissima farsi una idea della specie di soggetti che egli trattò. Secondo la nostra maniera di vedere per altro solo quelli riguardanti le Matematiche si presentano come strumenti adatti per lavori astronomici; e qui parleremo solo di quelle scoperte ottiche, che sono di importanza per l'Astronomia. Nel 1668 egli costruì un *telescopio riflettore,* cioè un telescopio nel quale i raggi della luce dell'oggetto osservato sono concentrati per mezzo di uno specchio curvo, invece che per mezzo di una lente, come nel *telescopio rifrattore* di Galileo e di Keplero. Telescopi basati su questi principî, differenti però in certi particolari importanti da quello di Newton, erano già stati descritti nel 1663 da Giacomo Gregory (1638-1675) i cui risultati Newton conosceva; ma non sembra però che Gregory avesse effettivamente fabbricato uno strumento. A causa di difficoltà meccaniche per la costruzione, mezzo secolo scorse prima che telescopi riflettori fossero costruiti, che potessero competere con i migliori rifrattori del tempo; e non fu fatta con essi nessuna scoperta astronomica di qualche entità prima di Guglielmo Herschel (Cap. XII), più di un secolo dopo la prima invenzione. La scoperta di Newton sull'effetto del prisma, come scompositore di un raggio di luce bianca nei suoi colori, è, in un certo senso, la base del metodo dell'analisi spettrale (Cap. XIII, § 299), alla quale sono dovute tante scoperte astronomiche negli ultimi cinquant'anni.

169. Le idee per le quali Newton è maggiormente conosciuto in ognuna delle sue tre grandi divisioni di studi: la gravitazione, la teoria sui colori, ed il metodo delle flussioni, sembrano essere sorte nello spirito di Newton, in meno di due anni, dopo che fu laureato; cioè prima dell'età di 24 anni. Il suo stesso racconto scritto molti anni dopo dà una viva pittura dell'attività mentale di quei suoi anni:

“ Nel principio dell'anno 1665, io trovai il metodo delle “ Serie approssimate, „ e la regola per ridurre qualunque potenza di qualunque binomio in serie. Lo stesso anno nel maggio, trovai il “ metodo diretto delle tangenti di Gregory e Sluzio „ e in novembre il “ metodo diretto delle flussioni; „ e l'anno dopo, nel gennaio, la “ Teoria dei colori, „ e nel marzo venturo mi iniziai nel “ Metodo inverso delle flussioni. „ Lo stesso anno cominciai a meditare intorno alla gravità estesa all'orbita della Luna; e avendo trovato come si poteva misurare la forza con la quale [un] globo, che ruota dentro una sfera, preme la superficie della sfera stessa, dalla legge di Keplero sui tempi periodici dei Pianeti, essendo in proporzione sesquialtera delle loro distanze dai centri delle loro orbite, ne dedussi che le forze che mantengono i pianeti nelle loro orbite, devono [essere] nella proporzione inversa dei quadrati delle loro distanze dai centri, intorno ai quali essi ruotano; e perciò paragonai la forza richiesta per mantener la Luna nella sua orbita, con la forza di gravità alla superficie della Terra, e trovai che erano quasi uguali. Tutto ciò accadeva nei due anni di pestilenza 1665, 1666; poichè in quei giorni ero nei primordi della mia età delle invenzioni, e mi applicavo alle Matematiche e alla Filosofia più che non abbia fatto dipoi „ (1).

170. Egli passò gran parte di quei due anni 1665-1666 a Wolshorpe appunto a cagione di quel morbo.

La storia, da tutti conosciuta, che egli meditasse sulla gravità dei corpi, in conseguenza della caduta di una mela nell'orto, è basata sopra autorità degne di fede, ed è perfettamente credibile nel senso che il pomo deve avergli rammentato appunto in quel tempo, certi problemi che si connettevano con la gravità. Che la caduta della mela gli

(1) Da un manoscritto nei giornali di Portsmouth, citato nella prefazione del Catalogo dei giornali di Portsmouth.

abbia seriamente suggerito l'esistenza dei problemi e la chiave della loro soluzione, è assolutamente inammissibile.

Diversi astronomi avevano già studiato sulla " causa " del moto conosciuto dei Pianeti e dei Satelliti; cioè essi avevano tentato di dimostrare che questi moti erano come conseguenze di leggi più fondamentali e più generali. Keplero, come abbiamo veduto (Cap. VII, § 158), aveva dimostrato che i moti in questione non dovevano essere considerati come dovuti a semplici punti geometrici, come p. es. il centro dei vecchi epicicli, ma a quelli di altri corpi; e, in particolar modo, fece dei tentativi per spiegare il movimento dei pianeti dovuto a una data influenza esercitata dal Sole. Errava però grandemente ricercando una forza che mantenesse costantemente in movimento i pianeti. La scoperta di Galileo, che il moto di un corpo continua indefinitivamente finchè qualche causa non sorga ad alterarlo o farlo cessare, diede subito un aspetto nuovo a questo come ad altri problemi di Meccanica; ma Galileo stesso non sviluppò la sua idea secondo questa particolare veduta. *Giovanni Alfonso Borelli* (1608-1679) in un libro intorno ai satelliti di Giove, pubblicato nel 1666, e perciò all'incirca quando Newton pubblicò il suo primo lavoro su questo argomento, dimostrò che un corpo che si muoveva in un circolo (o altra curva simile) tendeva ad allontanarsi dal centro, e, nel caso dei pianeti, questa forza poteva supporsi che fosse contrastata da un'attrazione verso il Sole. Abbiamo qui l'idea, espressa con assai incertezza, che il movimento di un pianeta non bisogna spiegarlo con la forza, che agisce nella direzione, verso la quale esso si muove, ma da una forza diretta verso il Sole, cioè circa ad angolo retto con la direzione del moto del pianeta. Huygens fece ancora un passo di più — quantunque non riferentesi espressamente all'Astronomia, — ed ottenne (Cap. VIII, § 158) una misura numerica della tendenza che ha un corpo, animato da moto circolare, di allon-

tanarsi dal centro, tendenza che doveva in qualche modo essere contrastata, se il corpo non doveva allontanarsi dalla sua traiettoria. Huygens pubblicò il suo lavoro nel 1673, qualche anno dopo che Newton ottenesse il risultato corrispondente, ma prima che pubblicasse qualcosa in proposito; e perciò non v'ha dubbio alcuno, che i due uomini lavorassero indipendentemente l'uno dall'altro.

171. Riguardato come una questione puramente generale, affatto indipendente dalle applicazioni astronomiche, il problema può essere posto così: “ sotto quali condizioni un corpo può muoversi con velocità uniforme in una circonferenza „.

Fig. 70. — *Moto circolare.*

Rappresenti A la posizione di un corpo in un dato istante, che si muove in un circolo, del quale o sia il centro; quindi in questo istante il corpo si muove nella direzione della tangente Aa. Per conseguenza e in forza della prima legge di Galileo (Cap. VI, §§ 130, 133) se abbandonato a sè stesso e non influenzato da nessun altro corpo, continuerebbe a muoversi con la stessa velocità, e nella stessa direzione, cioè lungo la retta Aa, e per conseguenza dopo qualche tempo si troverebbe precisamente nel punto a. Ma invece lo troviamo di fatto sul punto B del circolo. Dunque qualche influenza deve essere stata esercitata sopra di esso per portarlo nel punto B invece che sul punto a. Ma B è più vicino al centro del circolo che non sia a; dunque qualche causa deve influire costantemente sul corpo per attrarlo verso o, ed agir contro la tendenza che esso ha, in virtù della prima legge, sul moto, di allontanarsi sempre più da esso. Per esprimere nume-

ricamente ognuna di queste tendenze, abbiam bisogno di una idea più complessa che non sia quella della velocità, o ragione di moto, altrimenti detta *accelerazione*, o ragione di cambiamento di velocità, idea che Galileo aggiunse alla scienza nella sua discussione sulla legge della caduta dei corpi (Capitolo VII, §§ 116, 133). Un grave cadendo, ad esempio, si muove dopo un secondo con una velocità di circa 32 piedi per minuto secondo, dopo due secondi con una velocità all'incirca di 64, dopo tre secondi con una velocità di circa 96 e così via: così ogni secondo raggiunge una velocità discendente di 32 piedi per minuto secondo; e ciò può essere espresso altrimenti, dicendo che il corpo ha un'accelerazione nella caduta di 32 piedi di secondo in secondo. Un ulteriore studio del moto circolare dimostra, che il moto è perfettamente spiegato, se il corpo ha, sommata alla sua velocità iniziale, un'accelerazione di una certa grandezza *diretta verso il centro del circolo*. Si può ancora dimostrare che l'accelerazione può essere numericamente espressa prendendo il quadrato della velocità del corpo in moto, (espressa s'intende in piedi per secondo) e dividendo questo per il raggio del circolo, calcolato in piedi. Se, p. es., il corpo si muove in un circolo avente un raggio di quattro piedi, con la velocità di dieci piedi per secondo, allora l'accelerazione verso il centro è $\frac{10 \times 10}{4} = 25$ piedi di secondo in secondo. Questi risultati, ed altri simili a questo, furono per la prima volta pubblicati da Huygens — non precisamente in questa forma — nel suo libro *Horologium oscillatorium* (Cap. VIII, § 158), ed ottenuti indipendentemente da Newton nel 1666.

Se dunque un corpo si muove in un circolo, il suo moto è concepibile solo e perchè un altro corpo produce la sua accelerazione. Nel caso ordinario di un sasso legato ad una funicella e fatto ruotare intorno ad un punto di essa, l'accelerazione è prodotta dalla forza della mano che, per mezzo della corsa, trattiene il sasso; in un fuso, l'acce-

lerazione delle parti esterne è prodotta dalle forze che uniscono quelle alle parti interne, e così via.

172. Ma in casi più importanti di questa specie che s'incontrano in Astronomia, si sa che un pianeta si volge intorno al Sole in un' orbita che non differisce molto dal circolo. Se ammettiamo ora che l'orbita sia difatti un circolo, il pianeta deve avere un'accelerazione verso il centro, e si può benissimo attribuire la detta accelerazione all'influenza del corpo centrale, il Sole. In tal modo sorge l'idea di attribuire al Sole, una così tale "influenza„ sopra un pianeta che si volge intorno ad esso in modo da dargli un'accelerazione verso il Sole medesimo, e sorge altresì la questione del "*come*„ questa "influenza„ è differente a differenti distanze. Per rispondere a queste domande, Newton fece uso della terza legge di Keplero (Cap. VII, § 144). Abbiamo veduto che, secondo questa legge, il quadrato dei tempi di rivoluzione di due pianeti qualunque è proporzionale al cubo delle loro distanze dal Sole; ma possiamo trovare la velocità del pianeta dividendo la lunghezza dell'orbita percorsa nella sua rivoluzione intorno al Sole per il tempo della rivoluzione, e questa lunghezza è di nuovo proporzionale alla distanza del pianeta dal Sole. Perciò, le volocità dei due pianeti sono proporzionali alle loro distanze dal Sole, divise per i tempi delle rivoluzioni, e, per conseguenza, i quadrati delle velocità sono proporzionali ai quadrati delle distanze dal Sole, divise per i quadrati dei tempi delle rivoluzioni. Dunque, per la legge di Keplero, i quadrati delle velocità sono proporzionali ai quadrati delle distanze, divise per i cubi delle distanze medesime, cioè che i quadrati delle velocità sono *inversamente* proporzionali alle distanze, il pianeta più lontano avendo la minor velocità, e *viceversa*. Ora, secondo la formola di Huygens, l'accelerazione è misurata dal quadrato delle velocità divisa per il raggio del circolo (che, in questo caso, è rappresentato dalla distanza del pianeta dal Sole).

Le accelerazioni di due pianeti verso il Sole sono perciò inversamente proporzionali alle distanze moltiplicate per se stesse: cioè, esse sono inversamente proporzionali ai quadrati delle distanze. Il primo risultato di Newton frattanto è: che i moti dei pianeti — riguardati come ruotanti in un circolo, e in perfetto accordo con la terza legge di Keplero — possono spiegarsi come dovuti all' azione del Sole, supponendo il Sole atto a produrre sopra un pianeta un'accelerazione verso il Sole stesso, che è proporzionale ai quadrati inversi della sua distanza dal Sole: cioè, a distanza doppia è $^1/_4$ di essa, a distanza tripla $^1/_9$ di essa, e a distanza dieci volte maggiore $^1/_{100}$ di essa, e così via.

Il ragionamento può forse rendersi più chiaro per mezzo di un esempio numerico. In cifre tonde, la distanza di Giove dal Sole è cinque volte la distanza della Terra dal Sole, e Giove impiega 12 anni a compiere la sua rivoluzione intorno al Sole, mentre la Terra ne impiega solo uno. Dunque Giove percorre in 12 anni un cammino cinque volte maggiore di quello che la Terra percorre in un anno, e la velocità di Giove è perciò $^5/_{12}$ di quella della Terra, ossia le due velocità sono nella proporzione di 5 a 12; i quadrati delle velocità stanno perciò come 5×5 sta a 12×12, o come 25 sta a 144. L'accelerazione di Giove e della Terra verso il Sole sta perciò come $25 \div 5$ sta a 144, o come 5 sta a 144: dunque l'accelerazione di Giove verso il Sole è circa $^1/_{28}$ di quella della Terra, e se avessimo fatto calcoli più esatti si sarebbe ottenuta la frazione più approssimata a $^1/_{25}$. Perciò dunque, ad una distanza cinque volte maggiore l'accelerazione è 25 volte minore. Questa legge della *inversa dei quadrati,* come può chiamarsi, è pure la legge con la quale varia la luce emanata dal Sole o da qualunque corpo luminoso, e potrebbe essere non improbabile che qualunque specie di influenza emessa dal Sole segua questa legge.

173. Il passo fatto dopo molte ricerche da Newton fu per vedere se il moto della Luna intorno alla Terra potesse essere spiegato in modo simile. Lo stesso ragionamento ora fatto si potrebbe ripetere per dimostrare che esiste un'accelerazione della Luna verso la Terra. Ora, un sasso, lasciato cadere, cade all'ingiù, cioè verso il centro della Terra; e, come Galileo aveva dimostrato (Cap. VII, § 133), questo moto è uniformemente accelerato; se, secondo l'opinione generalmente accettata in quell'epoca, il movimento è riguardato come dovuto alla Terra, noi possiamo dire che la Terra ha il potere di imprimere un'accelerazione verso il proprio centro ai corpi vicini alla sua superficie. Newton notò che questa potenza si estendeva in ogni caso fino alla cima dei monti e poteva darsi anche fino alla Luna, e così dare origine alla richiesta accelerazione. Siccome l'accelerazione dei corpi cadenti, almeno per quel che si sapeva in quell'epoca, era la medesima per i corpi terrestri, in qualunque luogo si trovassero, era probabile che a una tale distanza, come quella della Luna, l'accelerazione prodotta dalla Terra sarebbe stata molto minore. Newton fece l'ipotesi, che fu sempre vieppiù accettata, che l'accelerazione diminuiva secondo la medesima legge, alla quale egli era arrivato parlando dell'azione del Sole sui pianeti; ossia che l'accelerazione prodotta dalla Terra sopra un corpo qualunque è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del corpo dal centro della Terra.

Bisogna osservare che qui sorge una difficoltà che non si presenta nel caso stesso riguardante i pianeti. Le distanze dei pianeti dal Sole, essendo abbastanza grandi rispetto alla grandezza del Sole, la differenza non è grande se la distanza planetaria si misura dal centro del Sole o da qualunque altro punto sopra di esso. Lo stesso si dica della Luna e della Terra; ma, allorquando noi paragoniamo l'azione della Terra sulla Luna con quella di una pietra

che si trova sopra o vicino al suolo, è chiaro che è della massima importanza il decidere se la distanza della pietra deve essere misurata dal punto più vicino della Terra, ad es. qualche piede, oppure dal centro, circa 4000 miglia, o da qualunque altro punto. Intanto, ad ogni modo, Newton decise misurando a partire dal centro della Terra.

Rimaneva da verificare la sua ipotesi nel caso della Luna, mediante un calcolo numerico; ciò si poteva facilmente fare, se fossero noti certi elementi, come, per es., l'accelerazione di un corpo cadente sulla Terra, la distanza della superficie della Terra dal centro, la distanza della Luna, ed il tempo impiegato dalla Luna a compire una rivoluzione intorno alla Terra. Il primo di questi elementi fu ottenuto facilmente e con molta esattezza: l' ultimo era ben conosciuto; ed altresì si sapèva che la distanza della Luna era all'incirca quattro volte il raggio della Terra. Che Newton potesse all'epoca sua tanto esattamente conoscere la grandezza della Terra, non è cosa sicura. Il calcolo può essere facilmente effettuato mediante una figura. In un mese di circa 27 giorni la Luna percorre intorno alla Terra uno spazio sessanta volte maggiore della distanza dalla Terra: cioè, percorre $60 \times 24{,}000$ miglia in 27 giorni, ciò che equivale circa a 3300 piedi per secondo. L'accelerazione della Luna è perciò calcolata dal quadrato di questa, diviso per la distanza della Luna (che è sessanta volte il raggio della Terra o 20,000,000 di piedi), ossia: $\frac{3300 \times 3300}{60 \times 20{,}000{,}000}$, che, ridotta, dà $^1/_{110}$. Per conseguenza se è vera la legge dell'inversa del quadrato, l'accelerazione di un corpo cadente alla superficie della Terra, che è sessanta volte più vicina al centro che non sia la Luna, dovrebbe essere $\frac{60 \times 60}{110}$, ossia fra 32 e 33; ma l'accelerazione effettiva dei corpi cadenti è piuttosto più di 32. Il ragionamento è perciò soddisfacente, e l'ipotesi di Newton è del tutto verificata.

L'analogia così stabilita fra il moto della Luna intorno

alla Terra, e il moto della caduta dei gravi, può essere illustrata dal confronto, dovuto a Newton, della Luna ad una palla esplosa orizzontalmente, da un posto elevato sulla Terra. La palla parte dal punto B nella fig. 71, e muovendosi da principio orizzontalmente descriverà una curva

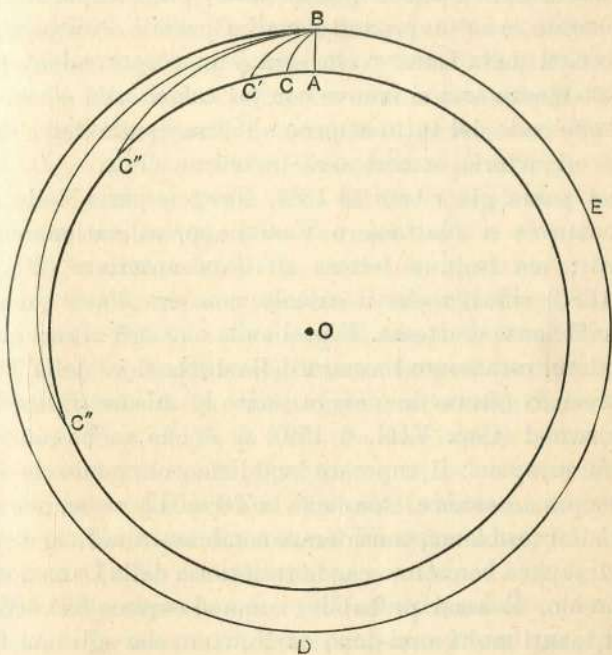



Fig. 71. — *La Luna considerata come un proiettile.*

e toccherà il suolo al punto C, a qualche distanza dal punto A, che è verticalmente al di sotto del punto di partenza. Se fosse stata esplosa con maggior velocità, il cammino da essa descritto sarebbe da principio meno curvo, e toccherebbe il suolo al punto C', al di là di C; se la velocità fosse stata anche maggiore, avrebbe toccato il suolo in C'' od in C'''; e si vede subito che con una velocità iniziale ancora maggiore, non raggiungerebbe affatto la Terra e

descriverebbe intorno ad essa una traiettoria come BDE. Ciò è precisamente quello che avviene per la Luna, con la sola differenza che la Luna è ad una distanza molto maggiore di quella che non abbiamo supposta per la palla, e che il suo moto non è prodotto da qualche cosa simile ad un fucile: ma ormai esistendo questo moto, poco importa come fu generato, o se fu prodotto mai in passato. Noi possiamo dire infatti della Luna " che essa è un corpo cadente; ma che solamente essa si muove con tal velocità, ed è così lontana, che cade del tutto attorno all'altra banda della Terra, invece di urtarla, e così sarà in eterno (1) ".

Nel passo già citato (§ 169), Newton parla delle ipotesi come se si adattassero " assai approssimativamente " ai fatti; ma in una lettera di data anteriore (20 giugno 1686) riferiva che il calcolo non era stato condotto con sufficiente esattezza. È probabile che egli si servisse di un valore veramente inesatto delle dimensioni della Terra, non avendo tenuto in nessun conto le misure di Snellio e di Norwood (Cap. VIII, § 159); si sa che anche più tardi egli fu incapace di superare soddisfacentemente le difficoltà sopra accennate, cioè come la Terra si potesse, per semplicità del problema, considerare condensata nel suo centro; ed egli sapeva benissimo che la traiettoria dalla Luna non era un circolo. È assai probabile, come si capisce da certi discorsi tenuti molti anni dopo da Newton, che egli non fosse punto soddisfatto dei suoi risultati per comprovare le sue ipotesi; ma del resto non è cosa certa; qualunque poi ne sia stata la causa, egli depose il pensiero per parecchi anni senza pubblicare nulla in proposito e si diede tutto all'Ottica e alla Matematica.

174. Intanto il problema del moto planetario era uno dei tanti soggetti discussi da gruppi di uomini distinti,

---

(1) W. K. Clifford, *Disegni e strumenti di genere scientifico.*

che si può dire fossero l'anima della Società Reale, fondata nel 1662. *Roberto Hooke* (1635-1703), al quale spetta la gloria della maggior parte delle scoperte scientifiche del tempo, dichiarò con rara lucidità, non più tardi del 1674, che i moti dei pianeti potevano derivare dall'attrazione esistente fra essi e il Sole, ed alluse anche alla possibilità dell'attrazione della Terra sui corpi, variando secondo la legge dell'inversa dei quadrati. *Cristoforo Wren* (1632-1723), conosciuto più come architetto che come scienziato, discusse qualche questione di questo genere con Newton nel 1697, e sembra altresì che meditasse una legge di attrazione di questa specie. Una lettera che Hooke diresse a Newton, scritta verso la fine del 1679 e che si occupava, fra le altre cose, della curva che descrive un corpo cadendo, tenuto conto della rotazione della Terra, stimolò Newton, che diceva essere in quel tempo la sua affezione per la filosofia " esausta, " di procedere nei suoi studi sui movimenti celesti. La misura più esatta della Terra fatta da Picard (Cap. VIII, § 159) era oramai ben conosciuta, e Newton non fece che ripetere i suoi calcoli antecedenti sul movimento della Luna, valendosi delle misure perfezionate di Picard, e ottenne un risultato assai più soddisfacente di quello trovato prima.

175. Nello stesso tempo (1679), Newton fece una nuova scoperta della massima importanza, sormontando non poche delle difficoltà, riguardanti il moto in una orbita che non fosse un circolo.

Egli dimostrò che se un corpo si muove intorno ad un corpo centrale, in modo che la retta congiungente i due corpi descriva aree uguali in tempi uguali, come nella seconda legge di Keplero sul moto planetario, (Cap. VIII, § 141), allora il corpo si muove sotto l'impulso di un'attrazione diretta precisamente verso il corpo centrale; e di più se l'orbita è una ellisse, col corpo centrale in un fuoco, come nella prima legge di Keplero sul moto planetario,

allora questa attrazione deve variare nei diversi punti dell'orbita secondo l'inversa del quadrato della distanza fra i due corpi. La legge di Keplero del moto planetario conduceva necessariamente alla conclusione, che il Sole esercita sopra un pianeta una attrazione inversamente proporzionale al quadrato della distanza del pianeta. Ancora una volta, per altro, Newton non pubblicò nulla e mise da banda i suoi calcoli, essendo occupato in altri studi.

176. Circa cinque anni dopo però il soggetto gli fu rammentato da *Edmondo Halley* (Cap. X, §§ 199, 205), l'amicizia del quale ebbe da quel momento in poi gran parte nella vita di Newton; e la sua devozione illimitata per il grande astronomo, forma un curioso contrasto coi diverbi e con le gelosie di quel tempo fra gli uomini di scienza.

Halley, nulla sapendo del lavoro di Newton nel 1666, riscoprì, nel 1684, la legge dell'inversa dei quadrati come conseguenza della terza legge di Keplero, e, poco tempo dopo, discusse con Wren e Hooke, quale sarebbe stata la traiettoria che avrebbe descritto un corpo sotto l'azione di un'attrazione, che variasse secondo quella legge: ma nessuno di loro potè rispondere alla domanda (1). Più tardi, durante l'anno, Halley visitò Newton e apprese da lui la risposta; Newton, cosa abbastanza caratteristica, aveva perduto i suoi primi calcoli; ma si rimise subito all'opera, e li mandò a Halley pochi mesi dopo. Allora fortunatamente la sua attenzione non era distratta da altri soggetti; egli si diede a studiare immediatamente un'infinità di altri problemi sul moto, e dedicò il suo corso di lezioni autunnali all'Università a questi argomenti. Forse il più interessante di questi nuovi risultati fu nel trovare che, la terza legge della inversa dei quadrati, nella sola suppo-

(1) È interessante leggere come Wren offrisse un premio di 40 sterline a quello dei due che risolvesse il problema fondamentale del sistema solare.

sizione che i pianeti si muovessero circolarmente, concordava ugualmente con la legge di Newton, qualora le orbite dei pianeti fossero ellittiche.

177. Alla fine di quest'anno 1684, Halley andò nuovamente da Newton, e lo sollecitò a pubblicare i suoi risultati. Per soddisfare questa domanda, Newton scrisse e mandò alla Società Reale una dissertazione intitolata *Propositiones de Motu*, le undici proposizioni contengono i risultati già mentovati ed alcuni altri relativamente al moto dei corpi sottoposti ad una attrazione verso il centro. Quantunque le proposizioni fossero date in una forma astratta, si capiva bene che alcune di esse si applicavano al caso dei pianeti.

Nuove sollecitazioni, da parte di Halley, persuasero Newton a dare ai suoi risultati una forma più durevole, pubblicandoli in un libro più grande. Come si poteva ben aspettarsi, il soggetto crebbe sotto le sue mani, e il grande trattato che ne risultò conteneva una immensa quantità di materiali non contenuti nel *De Motu*. Verso la metà del 1686, i primi appunti furono finiti, e alcuni di essi pronti per la stampa. Halley non soltanto si addossò le spese, ma sopraintese alla pubblicazione stessa e aiutò Newton a raccogliere i necessari dati astronomici. Dopo alquanti indugi nella pubblicazione, il libro finalmente venne fuori nei primi del luglio 1687, sotto il titolo di *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

178. I *Principia*, come sono comunemente chiamati, constano di tre libri come aggiunta all'introduzione del soggetto; il primo libro si occupa in generale di problemi sul moto dei corpi, risoluti per la maggior parte mediante una forma astratta, senza riferirsi in modo speciale all'Astronomia; il secondo tratta del moto dei corpi, in un mezzo resistente, come, p. es., i fluidi, ed è comparativamente di poca importanza per l'Astronomia, se non che ivi sono indicate certe patenti contraddizioni nella teoria

di Cartesio sui vortici; il terzo libro applica alle condizioni dell'attuale sistema solare i risultati già ottenuti, ed è infatti una spiegazione dei movimenti dei corpi celesti, secondo i principî meccanici di Newton.

179. La parte introduttiva che consiste nelle " Definizioni „ e " Assiomi „ o leggi del moto, forma un importante contributo alla Dinamica, essendo infatti la prima sistematica esposizione delle leggi fondamentali, secondo le quali i moti dei corpi sono prodotti o cambiati. Lo stesso Newton non pare riguardasse questa parte del libro come di grande importanza; ed i principali risultati in essa inclusi, essendo oscurati come furono da scoperte più maravigliose in altre parti del libro, richiamarono relativamente poca attenzione. Molti di essi non possono qui essere trattati, ma certi risultati di speciale importanza astronomica richiedono di essere menzionati.

Galileo, come abbiamo veduto (Cap. VI, §§ 130, 133), fu il primo ad enunciare la legge, che un corpo una volta in moto, continua a muoversi nella medesima direzione e con la stessa velocità, fino a che una causa non ne cambi la direzione. Questa legge è data da Newton nella forma già citata nel § 130, come la prima delle tre leggi fondamentali, ed è oggi conosciuta comunemente sotto il nome di " Prima legge del Moto „.

Galileo scoprì anche che un corpo che cade, si muove con una velocità che cambia continuamente, ma con una accelerazione uniforme " (Cap. VI, § 133), e che questa velocità uniformemente accelerata, è uguale per tutti i corpi „. La tendenza che ogni corpo ha di cadere, essendo generalmente riconosciuta come dovuta alla Terra, la scoperta di Galileo comprendeva il riconoscimento che uno degli effetti di un corpo sopra un altro poteva essere l'accelerazione prodotta nel suo movimento. Newton estese questa idea, dimostrando che la Terra produceva un'accelerazione nel movimento della Luna, e fu condotto al-

l'idea generale della accelerazione nel moto di un corpo, la quale può esser dovuta, in diversi modi, all'azione di altri corpi, e che potrebbe benissimo essere presa come misura dell'effetto prodotto da un corpo sopra un altro.

180. A questa idea Newton aggiunse l'importantissima e difficilissima nozione di *massa*.

Se noi paragoniamo due diversi corpi della stessa materia, ma di volume differente, noi siamo abituati a pensare che il maggiore di essi sia anche il più pesante. Nello stesso modo siamo subito portati a credere più pesante una palla di piombo di una palla di legno dello stesso volume. L'idea più strettamente connessa col “ *Peso* „ e con la “ *Leggerezza* „ è quella dello sforzo muscolare richiesto per sorreggere od alzare il corpo in questione; un maggiore sforzo, per es., è richiesto per sorreggere la palla di piombo che quella di legno. Inoltre se anche la palla di piombo è attaccata a un filo elastico, lo tenderà più che non farebbe la palla di legno; e se esse sono poste sul piatto di una bilancia, il piombo discende e il legno si innalza. Tutti questi effetti noi li attribuiamo al “ peso „ dei due corpi, e siamo comunemente abituati ad attribuire il peso in certo modo all'azione della Terra sui corpi. Il modo comune di pesare un corpo con la bilancia, mostra di più, che siamo abituati a considerare il peso come una quantità misurabile. D'altra parte, dal risultato di Galileo, che Newton accertò con molta esattezza per mezzo di una serie di esperimenti col pendolo, sappiamo che la palla di piombo e quella di legno, lasciate cadere liberamente, cadevano con la stessa accelerazione. Se perciò noi misuriamo l'effetto che la Terra esercita sulle due palle, dalla loro accelerazione, ci sembra che la Terra agisca egualmente sopra di esse; ma se lo misuriamo dalla diversa tensione di un filo tirato da essi, o dalla forza che l'uno ha di regger l'altro sul piatto della bilancia, allora l'effetto che la Terra esercita sulla palla di piombo, è maggiore di quello

esercitato sulla palla di legno. Sotto quest'aspetto, l'azione della Terra sopra ciascuna delle palle può esser chiamato peso, e il peso di un corpo può esser calcolato paragonandolo in una bilancia, con un corpo preso come unità di misura. La differenza fra due corpi, come la palla di piombo e quella di legno, può essere verificata però in modo affatto diverso. Per es., è facile vedere come abbisogni uno sforzo maggiore per muovere l'uno anzichè l'altro, o se ambedue sono attaccati ad un filo di eguale lunghezza e specie, e ruotando con la stessa velocità, un filo sarà più teso dell'altro. In tali casi, l'attrazione della Terra non è di nessuna importanza, e riconosciamo la diversità dei due corpi indipendentemente dall'attrazione terrestre. Questa diversità Newton la riguardava come dovuta alle diverse materie o quantità di materie dei due corpi, e a questa quantità egli diede il nome di " *massa* „. Si può ben dubitare rispetto alla utilità di questa particolare definizione di Massa; ma il passo veramente importante fu l'aver riconosciuto nettamente la massa come proprietà dei corpi, di importanza fondamentale nelle questioni dinamiche, e suscettibile di essere misurata.

Newton, sviluppando l'idea di Galileo, diede come misura dell'azione esercitata da un corpo sopra un altro il prodotto della sua massa per l'accelerazione, quantità per la quale egli adoperava diversi nomi, che oggi si qualificano per *forza.* Il peso di un corpo era in tal modo identificato, per la forza esercitata sopra esso dalla Terra. Siccome la Terra imprime la stessa accelerazione a tutti i corpi nel medesimo luogo, ne segue che le masse dei corpi nel medesimo luogo, sono proporzionali ai loro pesi; così che se due corpi sono fra loro paragonati in peso nel medesimo luogo, e il peso dell'uno (come si verifica p. es., con due bilance) si trova che è dieci volte maggiore dell'altro, anche la sua massa sarà dieci volte maggiore. Ma tali esperienze come quella di Richer a Caienna (Capi-

tolo VIII, § 161) mostrano che l'accelerazione dei corpi cadenti era minore all'Equatore che nelle più alte latitudini, così che se un corpo è portato da Londra o da Parigi a Caienna, il suo peso varia, pur la sua massa rimanendo la stessa. Il concetto di Newton sulla gravitazione della Terra estesa alla Luna, dava una maggiore importanza alla distinzione fra massa e peso, poichè se un corpo fosse trasportato dalla Terra alla Luna, la sua massa rimarrebbe inalterata; ma l'accelerazione dovuta all'attrazione della Terra sarebbe 60 × 60 volte minore, e il suo peso diminuirebbe nella stessa proporzione.

Sono altresì state date alcune regole sull'effetto prodotto nel moto di un corpo dall'azione simultanea di due o più forze (1).

Un ulteriore principio di grande importanza, del quale non si sono rinvenute che traccie assai confuse prima di Newton, fu dato da lui come la terza legge del moto, in questa forma: “ Ad ogni azione vi è sempre una uguale contro-azione o reazione; ossia, le reciproche azioni di due corpi qualunque sono sempre uguali e contrarie. „ Qui azione e reazione devono essere interpretate in primo luogo nel senso di forze. Se un sasso posa sopra una mano, la forza con la quale il sasso preme la mano all'ingiù, è uguale a quella esercitata dalla mano per sostenerlo; se la Terra attira in basso una pietra con una certa forza, la pietra attrae la Terra con forza uguale, e così di seguito. È da notarsi che, nell'ultimo esempio citato, le accelerazioni dei due corpi non sono le stesse, ma dal momento che la forza è misurata dal prodotto della massa

(1) Il teorema comune del parallelogramma delle forze, del quale scrittori antecedenti avevano una idea confusa, fu chiaramente esposto e provato nella introduzione dei *Principia*, e fu per una curiosa coincidenza pubblicato anche nello stesso anno da *Varignon* e *Lami*.

per la accelerazione, il corpo, che ha massa maggiore, riceve la minore accelerazione. Nel caso del sasso e della Terra, la massa di quest'ultima essendo enormemente maggiore (1), la sua accelerazione è enormemente minore di quella della pietra, ed è perciò (come noi sperimentiamo) affatto insensibile.

181. Quando Newton cominciò a scrivere i *Principia*, probabilmente si era persuaso (§ 173) che il potere di attrazione della Terra si estendeva fino alla Luna, e che l'accelerazione perciò prodotta su qualunque corpo — sia la Luna o altro corpo vicino alla Terra — è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dal centro della Terra. Coi concetti di forza e di massa, questo risultato può essere formulato così: " *La Terra attrae un corpo qualunque con una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza dal centro della Terra, e anche proporzionale alla massa del corpo medesimo.* „ In modo uguale Newton aveva stabilito che i movimenti dei pianeti potevano essere spiegati da un'attrazione verso il Sole, producendo un'accelerazione inversamente proporzionale al quadrato della distanza dal centro del Sole, non solo sullo *stesso* pianeta in punti differenti sulla sua traiettoria, ma altresì in differenti pianeti. Inoltre ne segue che il Sole attrae ogni pianeta con una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza del pianeta dal centro del Sole, ed anche proporzionale alla massa del pianeta.

Ma in forza della terza legge sul moto, un corpo sul quale la Terra esercita una certa attrazione, deve, a sua volta, esercitarne una simile sulla Terra; similmente, un corpo sul quale il Sole esercita attrazione, deve, a sua volta, esercitarne sul Sole. Se, p. es., la massa di Venere è sette volte quello di Marte, allora la forza che il Sole

(1) È fra 13 e 14 bilioni di bilioni di libbre. Vedi Cap. I, § 219.

esercita sopra Venere sarebbe sette volte quella esercitata sopra Marte posto alla stessa distanza, e come pure la forza con la quale Venere attrae il Sole è sette volte maggiore di quello che non sarebbe quella di Marte posto alla stessa distanza. Dunque, in tutti i casi di attrazione fin qui considerati, nei quali è possibile il confronto, la forza è proporzionale non soltanto alla massa del corpo attratto, ma anche a quella del corpo attraente, ed è inversamente proporzionale al quadrato della distanza. In tal modo la gravitazione non ci apparisce più come una proprietà particolare al corpo centrale in un sistema di rivoluzione, ma è una proprietà generale a tutti i corpi che compongono un sistema.

Oltre a ciò, il fatto che corpi liberi sulla superficie terrestre sono attratti dalla Terra, e perciò alla lor volta l'attraggono, fa venire in mente che il potere di attrarre altri corpi, che i corpi celesti mostrano di possedere, non appartenga al corpo celeste come ad un tutto, ma alle particelle che lo formano; così, p. es., la forza con la quale Giove e il Sole si attraggono vicendevolmente, è la resultante della composizione delle forze con le quali le particelle separate di Giove attraggono le particelle separate del Sole. Così la legge di gravitazione ci viene finalmente suggerita nella sua forma generale: ogni particella della materia attira ogni altra particella, con una forza proporzionale alla massa di ognuna di esse, ed inversamente (1) proporzionale al quadrato della loro distanza (2)

---

(1) Per quanto so, Newton non dà nessun breve saggio della legge in una forma completa e generale, ma diversi punti di essa sono dati in diversi passi dei suoi *Principia*.

(2) L'attrazione mutua di due corpi si esprime analiticamente nel seguente modo:
$F = k \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$ dove k è una costante. M e m la massa e r la distanza. (*N. del Tr.*).

182. In tutti i casi astronomici già riferiti, le attrazioni fra i varî corpi celesti sono state trattate come se fossero esattamente dirette verso il centro del corpo, e che la distanza fra i loro corpi fosse presa come la distanza fra i loro centri. Delle incertezze di Newton su questo punto, nel caso dell'attrazione della Terra sui corpi, ne è già stato parlato (§ 173); ma sui primi del 1685 riuscì a giustificare questa asserzione. Mediante una serie di ragionamenti tanto semplici quanto belli, egli dimostrò (*Principia*, lib. I, prop. 70, 71) che, se un un corpo è di forma sferica e uniforme in densità, esso attrae ogni particella non appartenente ad esso precisamente come se tutta la sua massa fosse riunita nel suo centro. Egli mostrò eziandio che lo stesso accadeva in una sfera di densità variabile, basta che sia riguardata come composta di una serie di gusci aventi un centro comune, ognuno di densità uniforme, quantunque fra di loro sieno di densità differente. Per es., il risultato è vero, trattandosi di una palla vuota di *guttaperca*, come per una palla solida, ma non è vero trattandosi di una palla composta di due emisferi, uno di legno, l'altro di ferro.

183. La legge della forza di gravitazione rimanendo così provvisoriamente stabilita, il gran problema che stava dinanzi a Newton, e al quale dedicò la maggior parte del primo e terzo libro dei *Principia*, era quello di dedurre da essa e dalle " leggi del moto " i movimenti dei vari componenti del sistema solare, e mostrare se era possibile che i movimenti così calcolati concordavano con quelli osservati. Se ciò fosse stato dimostrato con buon esito avrebbe portato seco una verificazione del più delicato e rigoroso carattere dei principî di Newton.

La concezione del sistema solare come un meccanismo, ogni componente del quale influisce sul moto di ogni altro secondo la legge universale di attrazione, quantunque semplicissimo in sè stesso, dà però occasione a serie diffi-

coltà, quando esso è effettivamente proposto per calcolare i varî movimenti. Se trattandosi del moto di un pianeta come Marte, fosse possibile di riguardar Marte, sotto la sola azione del Sole, ignorando l'effetto degli altri pianeti, allora il problema sarebbe completamente risoluto in proposizioni che Newton stabilì nel 1679 (§ 175), e per mezzo di esse la posizione di Marte in qualunque tempo potrebbe essere determinata con un certo grado di precisione. Ma, nel caso presente, il moto di Marte è influenzato dalle forze, con le quali gli altri pianeti (e i satelliti) lo attraggono, e queste forze dipendono alternativamente e dalla posizione di Marte (come da quella degli altri pianeti) e dai movimenti di Marte stesso. Un problema di questa fatta in tutte le sue generalità sorpassa ogni metodo matematico esistente. Fortunatamente però, la massa anche del più grande dei pianeti è tanto minore di quella del Sole, che il moto di uno di essi è pochissimo influenzato dagli altri, e si può dire che ogni pianeta si muove come se gli altri non esistessero; l'effetto di questi produrrà più tardi disturbi o *perturbazioni* sulla sua orbita. Quantunque in questa forma semplificato, il problema del moto dei pianeti è un quesito di estrema difficoltà (cfr. Cap. XI, § 229), e Newton fu incapace di risolverlo completamente; però fu capace di additare certi resultati generali provenienti dall'azione vicendevole dei pianeti, il più interessante essendo il lento moto progressivo dell'asse dell'orbita della Terra, fenomeno rilevato molto tempo innanzi da astronomi osservatori (Cap. III, § 59). Newton accertò pure che Giove, in grazia della sua gran massa, deve produrre una perturbazione nel moto del suo vicino, Saturno, e così diede qualche spiegazione della irregolarità prima notata da Horrocks (Cap. VIII, § 156).

184. Il movimento della Luna presenta speciale difficoltà; ma Newton, che probabilmente s'interessava moltissimo delle teorie dei problemi lunari, riuscì nel superarle

assai più completamente, che non riuscì nei corrispondenti problemi sui pianeti. Il movimento della Luna intorno alla Terra è primieramente dovuto all'attrazione della Terra; le perturbazioni dovute agli altri pianeti sono insignificanti; ma il Sole, quantunque a grande distanza avendo una massa enormemente maggiore di quella della Terra, produce un disturbo abbastanza sensibile sul movimento della Luna. Certe irregolarità, come abbiamo veduto (Capitolo II, § 40, 48; Cap. V, § 111) erano già state scoperte con l'osservazione. Newton fece conoscere che l'azione disturbatrice del Sole dovrebbe necessariamente produrre perturbazioni dello stesso carattere generale come quelle già riconosciute, e nel caso del moto dei nodi della Luna e del suo apogeo, egli potè dare risultati numerici abbastanza esatti (1), scoprì, altresì, un'infinità di altre irregolarità, per la massima parte piccolissime, che non erano state prima notate. Indicò pure l'esistenza di certe irregolarità nel movimento dei satelliti di Giove e di Saturno, analoghe a quelle che si vedono nella nostra Luna.

185. Parecchi risultati di carattere affatto nuovo scaturirono dalla teoria di Newton sulla gravitazione. Fu possibile per la prima volta determinare le masse di alcuni corpi celesti, paragonando l'attrazione esercitata da essi su altri corpi con quella esercitata dalla Terra. Il caso di Giove può essere citato come esempio. Il tempo della rivoluzione del più lontano satellite di Giove, è 16 giorni e 16 ore, e la sua distanza da Giove fu calcolata da

---

(1) È generalmente ritenuto che il valore del moto degli apsidi dell'orbita della Luna, di Newton, fosse quasi la metà del suo vero valore. In uno scolio dei *Principia* alla prop. 35ª del libro III, dato nella prima edizione ma dopo omesso, egli valutò il moto annuale a 40°, il valore osservato essendo circa 41°. In una di queste Note inedite, contenute nella Collezione di Portsmouth, egli arrivò a 39° con un processo che non riguardava come punto soddisfacente.

Newton (non molto esattamente) circa quattro volte la distanza della Terra alla Luna. Un calcolo precisamente simile a questo dei paragrafi 172 e 173 fa vedere che l'accelerazione del satellite dovuta all'attrazione di Giove, è all'incirca dieci volte maggiore che l'accelerazione della Luna verso la Terra, e che perciò, la distanza essendo quattro volte maggiore, Giove attrae un corpo con una forza di 10 × 4 × 4 volte maggiore di quella con la quale la Terra attrae un corpo alla medesima distanza; per conseguenza la massa di Giove è 160 volte quella della Terra. Questo ragionamento si applica anche a Saturno, e similmente un confronto del moto del pianeta (Venere, per es.) intorno al Sole col moto della Luna intorno alla Terra, dà una relazione fra le masse del Sole e della Terra. In tal maniera Newton trovò la massa del Sole che è 1067, 3021 e 169282 volte più grande di quella di Giove, di Saturno e della Terra rispettivamente. I valori corrispondenti ora in uso non sono molto lontani da 1047, 3530, 324439. Il grosso errore nell'ultimo numero è dovuto all'uso di un valore errato della distanza del Sole - in allora punto esattamente conosciuta - dalla quale dipendono le altre distanze del sistema solare, eccettuato quelle relative al sistema Terra-Luna. Siccome era necessario per l'uso di questo metodo di poter osservare il moto di qualche altro corpo attratto dal pianeta in questione, non poteva essere applicato agli altri tre pianeti (Marte, Venere e Mercurio), dei quali non si conosceva alcun satellite (1).

186. Dalla eguaglianza dell'azione e reazione ne segue che, dal momento che il Sole attrae i pianeti, essi pure attraggono il Sole, e, per conseguenza, anche il Sole è in moto, quantunque — avuto riguardo alla grandezza dei

---

(1) Si può dire altrettanto oggi per Venere e Mercurio, ma non per Marte.

(*N. d. Tr.*).

pianeti relativamente piccola — in piccolo spazio. Ne segue che la terza legge di Keplero non è strettamente esatta, la deviazione da essa facendosi sensibile nei grandi pianeti Giove e Saturno. (Cfr. Cap. VIII, § 144). Fu per altro dimostrato da Newton che, in qualunque sistema di corpi, come appunto il sistema solare, moventisi in una direzione qualunque, sotto l'influenza della loro vicendevole attrazione, esiste un punto particolare chiamato il *Centro di gravità,* che può essere considerato sempre come stabile; il Sole si muove relativamente a questo punto, ma così poco che la distanza fra il centro del Sole ed il centro di gravità non può essere mai molto maggiore del diametro del Sole.

È cosa curiosa che questo risultato non fosse preso come punto d'appoggio dai sostenitori della Chiesa nella condanna di Galileo, risultato che ormai rimontava a mezzo secolo, poichè se questo risultato era ben lungi dall'ammettere la Terra come il centro del mondo, in ogni modo dava una smentita alle dottrine di Copernico e di Galileo che ammettevano il Sole " immobile „ nel centro del mondo. Probabilmente nessuno che fosse capace di intendere il libro di Newton, era veramente un serio sostenitore del sistema anti-copernicano, quantunque alcuni si professassero obbedienti al decreto papale su questo soggetto (1).

---

(1) In tutta la durata della controversia copernicana fino al tempo di Newton è stato generalmente supposto, tanto dai Copernicani quanto dai loro oppositori, che vi fosse qualche cosa di non determinato parlando di un corpo semplicemente come in « stato di quiete » o in « stato di moto », quando non vi fosse relazione con un altro corpo. Mentre ciò che possiamo realmente osservare è il moto di un corpo relativo a uno o più altri corpi. Una osservazione astronomica parla, p. es., di un certo moto relativo fra la Terra e il Sole; e questo moto fu espresso in due modi affatto diversi da Tolomeo e da Copernico. Secondo il punto di vista mo-

187. La variazione della durata delle oscillazioni di un pendolo in parti differenti della Terra, scoperta da Richer nel 1672 (Cap. VIII, § 161), mostrava che, probabilmente, la Terra non era una sfera. Newton fece conoscere che questo suo scostamento dalla forma sferica era una conseguenza della mutua gravitazione delle diverse particelle, che formano la Terra, e della rotazione della Terra medesima. Egli immaginò un canale d'acqua che passasse dal polo al centro della Terra, e poi dal centro ad un

---

derno, la questione ora posta era di decidere se era più facile determinare detto moto relativo rapporto al Sole o alla Terra. Fu trovato conveniente di esprimerlo, come fecero Copernico e Galileo in relazione al Sole, guadagnando in tal modo la dimostrazione in semplicità, considerando il Sole come «immobile» ed omettendo l'epiteto «relativo al Sole» parlando di qualunque altro corpo. Gli stessi movimenti potevano essere stati espressi relativamente a qualunque altro corpo scelto a volontà, per esempio, alle lancette di un orologio portato da un uomo che cammini in giù e in su sul ponte di una nave quando il mare è in burrasca; in questo caso è chiaro che i moti degli altri corpi del sistema solare, relativamente a questo corpo, sarebbero eccessivamente complicati e sarebbe perciò della massima inconvenienza o inopportunità, benchè sempre possibile, il trattare questo tale corpo o oggetto come «fisso».

Un nuovo aspetto del problema si presenta pertanto, allorquando un tentativo, come quello di Newton, si fa per spiegare i moti dei corpi del sistema solare, come risultati da forze esercitate dall'uno sull'altro di questi corpi. Se, p. es., consideriamo la prima legge sul moto di Newton (Cap. VI, § 130), si vede che non ha nessun significato, a meno che non si sappia che cosa sono il corpo o i corpi in relazione ai quali il moto viene espresso; un corpo in quiete relativamente alla Terra si muove relativamente al Sole o alle stelle fisse, e l'applicabilità della prima legge a quello, dipende dal nostro riguardare quel suo moto relativamente alla Terra o no. Per la maggior parte dei moti terrestri, è sufficiente considerare la legge sul moto, come riferentesi al moto relativo alla Terra, o in altre parole noi possiamo a tale scopo riguardare la Terra come «immobile». Ma se noi esaminiamo meglio certi moti terrestri, troviamo che le leggi sui moti così interpretate non sono perfet-

punto dell'equatore, ($BOaA$ nella fig. 72) e poi trovò la condizione nella quale queste due colonne d'acqua OB, o A, ognuna attratta verso il centro della Terra, si fanno equilibrio. Questo metodo richiede certe ipotesi rispetto alla struttura interna della Terra, di cui anche oggi si può dire si conosce ben poco; e, per conseguenza, quantunque il risultato generale di Newton che la Terra sia schiacciata ai poli e rigonfia all'equatore fosse esatto, l'espressione numerica effettiva che egli trovò non era molto esatta.

Se nella figura la linea punteggiata è un circolo, il raggio del quale è uguale alla distanza del polo B dal centro della Terra O, allora la reale superficie della Terra si estende all'equatore al di là di questo circolo fino in A, dove, secondo Newton, aA è circa $\frac{1}{230}$ di OB od OA, e secondo i calcoli moderni, basati sopra le effettive misure della Terra come pure sopra teorie (Cap. X, § 221), è circa

---

tamente vere, ma che ci potremo dare una più esatta spiegazione dell'osservato fenomeno, se noi riguardiamo la legge del moto come riferentesi al moto relativo al centro del Sole e le congiungenti condotte da lui alle stelle; o, in altri termini, noi consideriamo il centro del Sole come un punto «fisso», e questo punto e queste congiungenti come direzioni «fisse». Ma nuovamente, allorquando noi abbiamo a che fare col sistema solare, generalmente questa interpretazione è alquanto inesatta, e abbiamo da considerare il centro di gravità del sistema solare invece del Sole come «fisso».

Da questo punto di vista, possiamo dire che l'obbietto di Newton nei suoi *Principia* era il mostrare come fosse possibile scegliere un certo punto (il centro di gravità del sistema solare) e certe direzioni (le rette che uniscono questo punto alle stelle fisse) come punto di riferimento, tanto che tutti i moti essendo considerati come relativi a questa origine, le leggi del moto e la legge di gravitazione, offrono una vera e propria spiegazione dei moti osservati nei corpi del sistema solare.

$\frac{1}{293}$ di OA (1). Tanto la frazione di Newton quanto la moderna sono così piccole che il risultante schiacciamento non può rendersi sensibile in una figura: nella fig. 72 la lunghezza aA, è fatta quasi trenta volte maggiore di quel che non dovrebbe essere, ed è fatta così perchè la figura sia più chiara. Newton scoprì eziandio in modo simile

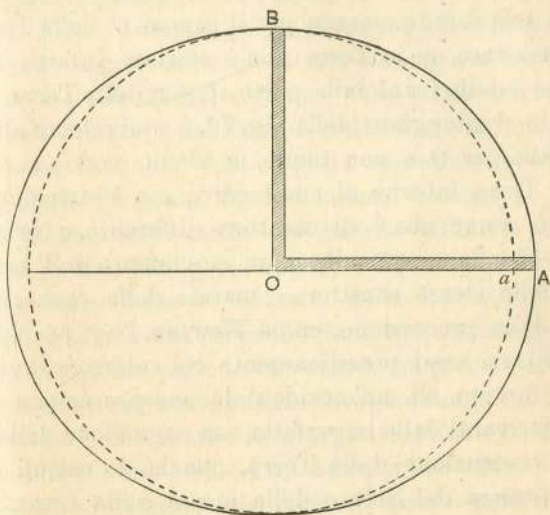



Fig. 72. — *La forma sferoidale della Terra.*

lo schiacciamento di Giove, il quale, in forza della sua più rapida rotazione, è considerevolmente più schiacciato della Terra; ciò fu pure rivelato telescopicamente da Domenico Cassini, quattro anni dopo la pubblicazione dei *Principia*.

188. La scoperta della forma della Terra conduceva ad una spiegazione della precessione degli equinozi, fenomeno

---

(1) Il più recente valore di $\frac{a-b}{a}$ discusso da Helmert dà $\frac{1}{298}$.
(*N. d. Tr.*).

stato scoperto 1800 anni prima (Cap. II, § 42), ma rimasto dipoi allo stato di mistero.

Se la Terra è una sfera perfetta, allora la sua attrazione su qualunque altro corpo è precisamente la stessa come se la sua massa fosse tutta condensata al centro (§ 182), e così pure l'attrazione esercitata su di essa da un altro corpo qualunque, come, ad es., il Sole o la Luna, è equivalente ad una sola forza passante per il centro *O* della Terra; ma ciò non è vero, se la Terra non è sferica. Infatti, l'azione del Sole e della Luna sulla parte sferica della Terra, dentro il circolo punteggiato della fig. 72, è equivalente alla forza che passa per *O* e non tende in alcun modo a far ruotare la Terra intorno al suo centro; ma l'attrazione sulla porzione rimanente è di carattere differente, e Newton dimostrò che da esso risultava un movimento dell'asse della Terra dello stesso carattere generale della precessione. Il valore della precessione, come Newton l'aveva calcolato, si accordava assai prossimamente col valore osservato, ma ciò era dovuto ad un'accidentale compensazione di due errori, derivanti dalla imperfetta sua cognizione della forma e della costruzione della Terra, nonchè da calcoli erronei della distanza del Sole e della massa della Luna, poichè Newton non era stato capace di misurare con esattezza nessuna di queste due quantità (1).

Più tardi fu dimostrato che il moto in questione era di necessità non perfettamente uniforme, ma che, in grazia degli effetti disuguali del Sole in posizioni differenti, l'asse

(1) Egli calcolò che la precessione annuale, dovuta al Sole, era circa 9″, e quella dovuta alla Luna quattro volte e mezzo, così che il valore totale dovuto ai due corpi venne ad essere circa di 50″, che differisce per una frazione di secondo dal valore dato dall'osservazione; ma ora sappiamo che quella parte che spetta alla Luna, non è maggiore di due volte quella spettante al Sole.

della Terra ha un movimento di va e vieni ogni sei mesi, quantunque impercettibile.

189. Newton diede altresì una spiegazione delle maree come dovute all'azione disturbatrice della Luna e del Sole, la prima essendo di maggior importanza della seconda. Se riguardiamo la Terra come composta di un nucleo solido e sferico, coperto dell'oceano, allora la Luna attrae inegualmente le parti differenti, e in particolare l'attrazione, misurata dalle accelerazioni prodotte, è maggiore sulle acque più prossime alla Luna, che non sulle parti solide, e che quella sulle acque più distanti dalla Luna è minore. In conseguenza l'acqua si muove sulla superficie della Terra, e il carattere generale del movimento è come se la porzione d'oceano dalla parte che guarda la Luna fosse attratta, e quella dalla parte opposta respinta. In forza della rotazione della Terra e del moto della Luna, la Luna ritorna quasi alla stessa posizione rispetto a qualunque punto della Terra, in un periodo che eccede un giorno (in media) di 50 minuti; e per conseguenza il ragionamento di Newton dimostrava che le maree (o alte maree) dovute alla Luna si seguirebbero fra loro, ad un certo *punto dato*, ad intervalli uguali all' incirca alla metà di questo periodo; o, in altre parole, che i due flussi avverrebbero in generale giornalmente, ma che in ciascun giorno si verificherebbero delle fasi speciali delle maree, in media di circa 50 minuti più tardi che quelle del giorno precedente, risultato che concorda con le osservazioni fatte. Si dimostrò con lo stesso ragionamento che simili maree provengono dall'azione del Sole, e che le attuali maree son dovute alla combinazione delle due azioni. Fu dimostrato che, a Luna nuova e a Luna piena, le maree derivanti dal Sole e dalla Luna si sommavano; quando è il semilunio (quadrature) tendono a elidersi scambievolmente; così che il fatto osservato delle massime alte maree, ogni quindici giorni, avrebbe la sua spiegazione. Un infinito numero di particolarità sulle maree

si videro risultare dagli stessi principî. Newton fece delle ingegnose osservazioni sull'altezza delle maree, quando il Sole e la Luna agivano insieme, e quando agivano in senso contrario, per paragonare la forza di sollevamento della marea dovuta al Sole e quella dovuta alla Luna, e quindi determinare la massa della Luna in funzione di quella del Sole, e, conseguentemente, in funzione di quella della Terra (185). La massa così risultante della Luna fu circa due volte quel che dovrebbe essere secondo cognizioni moderne; ma si osservi che prima di Newton nessuno sapeva nulla intorno al metodo per determinare la massa della Luna, neppure in una maniera grossolana, e questo risultato doveva essere liberato da innumerevoli complicazioni riguardanti tanto la teoria quanto l'osservazione delle maree, perciò può essere riguardato come un fatto notevole. La teoria di Newton sulle maree era basata su certe ipotesi, le quali permettevano di rendere il problema facilmente trattabile; ma certamente non erano vere; e, per conseguenza, come egli stesso ne conveniva, era necessario fare importanti modificazioni per potere mettere d'accordo i risultati coi fatti reali. Il solo fatto della presenza di una parte della Terra non coperta dalle acque è, per esempio, sufficiente per sè stesso a produrre importanti cambiamenti negli effetti delle maree in punti differenti. Così la teoria di Newton non era in nessun conto idonea a un tal cómpito, come quello di predire i tempi delle alte maree a un punto richiesto o l'altezza di una marea richiesta, benchè desse una spiegazione soddisfacente a molte delle caratteristiche delle maree stesse.

190. Come abbiamo veduto (Cap. V, § 103; Cap. VII, § 146), le comete, sino a questo tempo, erano state comunemente riguardate come corpi terrestri prodotti nelle più alte regioni della nostra atmosfera, e perfino gli astronomi più illuminati, che, come Tycho, Keplero e Galileo, le riguardavano come appartenenti a' corpi celesti, erano

incapaci di dare una spiegazione dei loro movimenti e delle loro irregolari apparizioni e scomparse. Newton fu portato a considerare se fosse possibile spiegare i moti delle comete come quelli dei pianeti, in forza della gravitazione verso il Sole. Allora, se ciò si verificasse, come lo aveva provato al cominciare dei suoi *Principia,* la loro orbita doveva essere o una ellisse, o una delle altre due coniche: *parabola* od *iperbole.* Se la cometa si muovesse in una

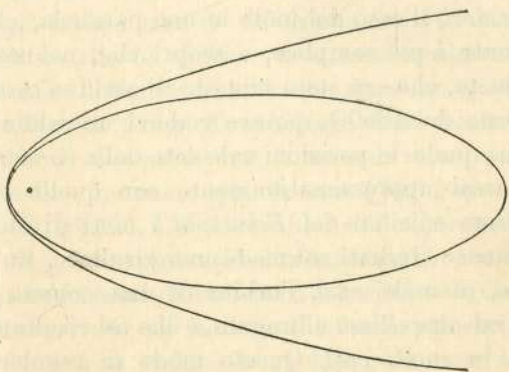



Fig. 73. — *Una ellisse allungata e una parabola.*

ellisse, che non differisse molto dal circolo, in questo caso non retrocederebbe mai ad una gran distanza dal centro del sistema solare, e sarebbe, per conseguenza, veduta ad intervalli regolari; risultato che era contrario ai fatti osservati. Se però l'ellisse fosse molto allungata, come dimostra la fig. 73, allora il periodo di rivoluzione sarebbe facile che fosse grandissimo, e, durante la maggior parte di esso, la cometa sarebbe così lontana dal Sole e conseguentemente dalla Terra, da essere invisibile. In tal caso, la cometa sarebbe veduta per poco tempo e diverrebbe invisibile, per poi riapparire dopo un grande spazio di tempo, quindi essa sarebbe considerata come una cometa nuova. E di più, se l'orbita della cometa fosse una parabola (che

può considerarsi come una ellisse indefinitamente allungata), la cometa non ritornerebbe affatto, ma sarebbe semplicemente veduta una volta sola, quando fosse in quella parte della sua orbita vicina al Sole. Ma se la cometa si muovesse in una parabola, col Sole in un foco, allora la sua posizione, quando non fosse molto lontana dal Sole, sarebbe la medesima, come se si muovesse in una ellisse allungata (cfr. fig. 73), e per conseguenza difficilmente si potrebbero distinguere i due casi. Newton, secondo queste ipotesi, considerò il caso del moto in una parabola, che matematicamente è più semplice, e scoprì che, nel caso di una certa cometa, che era stata oggetto di assidue osservazioni nell'inverno del 1680-1, poteva vedersi un'orbita parabolica, nella quale le posizioni calcolate della cometa concordavano assai approssimativamente con quelle osservate. Nelle ultime edizioni dei *Principia* i moti di molte altre comete furono studiati col medesimo risultato. Fu così stabilito che, in molti casi, l'orbita di una cometa è o una parabola od una ellisse allungata, e che tal risultato doveva ottenersi in molti casi. Questo modo di regolare i moti apparentemente arbitrari delle comete, e il fatto di essere esse comprese coi pianeti nella stessa classe dei corpi che si muovono intorno al Sole sotto l'azione della gravità, può in verità riguardarsi come una delle più meravigliose fra le innumerevoli scoperte contenute nei *Principia.*

Nello stesso luogo Newton discusse assai lungamente la natura delle comete, e in particolare la struttura delle loro code, e giunse ad un risultato che si accorda con le teorie moderne (Cap. XIII, § 304), cioè che la coda è formata da un torrente di materia minutissimamente divisa, della natura del fumo, che si alza dal corpo della cometa, ed è illuminata dalla luce del Sole, quando ne è abbastanza vicina da rendersi visibile.

191. I *Principia* furono pubblicati, come abbiamo veduto, nel 1687. Sembra che non ne sia stata stampata che

una sola edizione, e questa fu esaurita in tre o quattro anni. Le prime scoperte di Newton, e la presentazione dell'opuscolo *De Motu* alla Società Reale (§ 177), aveva preparato il mondo scientifico a vedere importanti risultati nei *Principia*, e pare che il libro sia stato letto dai principali matematici ed astronomi del continente, e che sia stato molto calorosamente accolto in Inghilterra. La filosofia di Cartesio, per altro, aveva una base troppo salda per essere scossa; e il principio fondamentale di Newton, implicando, come egli fece, l'idea di un' azione fra due corpi separati da un intervallo di spazio vuoto, sembrava assolutamente inaccettabile a' pensatori che non avevano ancora pienamente afferrata l'idea di giudicare una teoria scientifica dal punto di vista che essa si accordava con i fatti osservati. Perfino un uomo grande come Huygens riguardava (Cap. VIII, §§ 154, 157, 158) l'idea della gravitazione come " assurda ", ed espresse la sua maraviglia che Newton si fosse preso la pena di fare tanti laboriosi calcoli con nessun altro fondamento all' infuori di questo principio; osservazione che faceva vedere come Huygens non avesse nessuna idea che l'essere d'accordo i risultati di questi calcoli con i fatti reali era una prova della solidità del principio. Ragioni personali contribuirono presso i continentali a non tener conto dell'opera di Newton, come la famosa controversia fra Newton e Leibniz riguardo ai loro rispettivi diritti sulla priorità della invenzione di ciò che Newton chiamava *Il calcolo delle flussioni* e Leibniz *Il metodo differenziale* (dal che sono sorti i calcoli integrale e differenziale), disputa che crebbe di ardore fino a far sorgere nuovi combattenti da ambo le parti. Infatti, quasi mezzo secolo passò prima che le vedute di Newton facessero un vero progresso sul continente (cfr. Cap. XI, § 229). Nell'Inghilterra il caso era differente; non soltanto i *Principia* furono letti con ammirazione dai pochi capaci d'intenderli, ma scolari come Bentley, filosofi come Locke e cortigiani come Halifax,

tutti fecero dei tentativi per afferrare le idee generali di Newton, anche se i particolari delle sue matematiche uscivano dal loro ámbito. Oltre a ciò, fu presto scoperto che le sue idee scientifiche potevano essere impiegate con utilità nelle discussioni teologiche.

192. Il gran successo dei *Principia* ebbe per Newton un brutto risultato, poichè fu distolto dal quieto posto di professore di Cambridge, ove aveva molto tempo libero, benchè piccola entrata, col farlo un uomo di importanza pubblica, e quindi dovè sempre più dedicare il suo tempo in affari di vario genere.

Proprio prima della pubblicazione dei *Principia*, egli fu proposto come uno dei rappresentanti della sua Università per difenderne i diritti contro le usurpazioni di Giacomo II, e, due anni dopo, egli sedette come membro nella Convenzione parlamentare per la sua Università, benchè si ritirasse dopo il suo scioglimento. Nonostante queste ed altre distrazioni, egli continuò a lavorare intorno alla teoria della gravitazione, porgendo particolare attenzione alla teoria lunare, soggetto difficile e del cui trattamento egli non fu mai pienamente soddisfatto (1). Ebbe la fortuna di poter ottenere dal reale astronomo Flamsteed importantissime osservazioni sulla Luna, come su altri corpi (Cap. X, §§ 197-8), benchè le continue richieste di Newton e gli eventuali rifiuti di Flamsteed conducessero talvolta ad attriti violenti. È possibile che, in quel tempo, Newton vagheggiasse un nuovo trattato, con ragionamenti più particolareggiati su varî punti discussi nei *Principia*; e, nel 1691, si parlava anche di una nuova edizione dei *Principia*, possibilmente edita da qualche matematico, più giovane. In ogni caso niente di tutto

(1) Egli disse una volta disperato a Halley che la teoria lunare gli « dava il mal di capo » e che lo teneva sveglio così spesso, che non voleva più pensarci.

ciò si fece per qualche anno ancora, forse a cagione di una malattia seria, evidentemente disturbi nervosi, che tormentarono Newton nel 1692 e che durarono due anni. Durante questa malattia, come disse egli stesso, " non aveva la solita forza di mente, „ ed è cosa sicura che mai più egli ricuperò la sua potente attività mentale.

Appena guarito, fece subito nuovi preparativi per un'altra edizione dei *Principia*, oltre al mandare innanzi la teoria lunare; ma il lavoro fu nuovamente interrotto nel 1695, allorchè ricevè l'incarico onorifico di Direttore del conio monetario, del quale fu promosso presidente quattro anni dopo. Gli fu mestieri perciò andare a Londra (1696) e molta parte del suo tempo fu, da quel momento, dedicato a doveri d'ufficio. Nel 1701, egli diede le sue dimissioni come professore a Cambridge, e, nel medesimo anno, fu, per la seconda volta, eletto rappresentante parlamentare della Università. Nel 1703, fu scelto come presidente della Società Reale, carica che egli tenne fino alla sua morte; e, nel 1705, fu nominato cavaliere nella occasione di una visita reale a Cambridge.

In questo lasso di tempo pubblicò (1704) il suo trattato sull'*Ottica*, gran parte del quale era stato probabilmente scritto molto tempo prima, e, nel 1709, egli abbandonò del tutto l'idea di ripubblicare i *Principia* da sè, e fece in modo che una tale pubblicazione fosse fatta da *Roger Cotes* (1682-1716), valente e giovane matematico, la cui morte prematura, avvenuta pochi anni dopo, strappò a Newton il suo famoso elogio: " Se il signor Cotes fosse vissuto, noi avremmo saputo qualche cosa di più „. I cambiamenti da farsi furono discussi in una lunga e attiva corrispondenza fra l'editore e l'autore, di cui i più importanti erano i perfezionamenti e le aggiunte alla teoria lunare, gli studi sulla precessione e sopra le comete, quantunque vi fossero pure molti altri piccoli cambiamenti; e la nuova edizione venne fuori nel 1713; ma questa volta

Newton, che aveva più di 80 anni, vi prese molto meno parte, ed i cambiamenti non furono di grande importanza. Questo fu l'ultimo lavoro scientifico di Newton e la sua morte avvenne l'anno seguente (3 marzo 1727).

193. Non è possibile dare un'adeguata idea della straordinaria importanza delle scoperte scientifiche di Newton, a meno che non si faccia largo uso della Matematica, come fa Newton in gran parte delle sue opere. La critica lo rispettò perfino nella persona del suo nemico, il Leibniz, che disse: “ Considerando le Matematiche dal principio del mondo fino a Newton, ciò che egli fece è una buona parte del meglio che abbiamo; „ e l'osservazione del suo gran successore Lagrange (Cap. XI, § 237): “ Newton fu il più gran genio che mai esistesse ed il più fortunato, perchè non si può che una sola volta stabilire il sistema del mondo, „ dimostrano il gran rispetto sentito per la sua opera da coloro che erano competenti a giudicarla.

Dopo questi magnifici elogi, è bello paragonare la riconoscente deferenza di Newton per i suoi predecessori: “ Se io ho veduto più lontano degli altri, è perchè mi sono messo sulle spalle di giganti; „ e la stima modesta che faceva dell'opera sua: “ Io non so che cosa comparirò agli occhi del mondo; ma ai miei occhi mi pare di essere stato un ragazzo, che si trastulla sulla riva del mare, distraendomi di tanto in tanto col trovare un sassolino più levigato od una conchiglia più graziosa, mentre il grande oceano della verità si stendeva dinanzi a me inesplorato. „

194. Fu talvolta detto, come spiegazione della differenza fra le opere di Newton e quelle dei suoi predecessori, che mentre essi fecero vedere *come* si muovono i corpi celesti, egli mostrò *perchè* si movevano, o, in altri termini, essi *descrissero* i moti, mentre egli li *spiegò* e ne determinò le cause. Non si sa bene se questa distinzione fra il *Come* e il *Perchè*, benchè senza dubbio abbastanza opportuna, abbia

una vera validità. Tolomeo, p. es., rappresentò il moto di un pianeta mediante una certa combinazione di epicicli; il suo sistema equivaleva ad un metodo particolare per descrivere il moto; ma se qualcuno gli avesse domandato perchè i pianeti si trovano in un certo dato tempo in una certa data posizione, egli poteva legittimamente rispondere che era così, perchè il pianeta era collegato a quel particolare sistema di epicicli, e che la sua posizione poteva essere determinata mediante un rigoroso processo di calcoli. Ma se fossimo andati più là, ed avessimo domandato perchè gli epicicli dei pianeti erano come erano, Tolomeo non avrebbe saputo che cosa rispondere. Di più, siccome il sistema degli epicicli differiva, sotto certi rispetti di qualche importanza, da pianeta a pianeta, il sistema di Tolomeo lasciava senza risposta un'infinità di domande, che si presentavano con tutta naturalezza. Venne Copernico e diede una risposta parziale ad alcune di queste domande. Alla domanda perchè certi moti corrispondenti a certi epicicli esistessero, avrebbe replicato che ciò era a causa di certi moti della Terra, dai quali questi moti planetari (apparenti) potevano trarsi come necessarie conseguenze. Ma la stessa spiegazione poteva benissimo essere stata data come una esposizione descrittiva, che la Terra si muove con un certo moto e i pianeti con un cert'altro. E di più, se a Copernico fosse stato domandato perchè la Terra girava sul suo asse, o perchè i pianeti si muovono intorno al Sole, non avrebbe potuto dare nessuna risposta; ancora meno avrebbe saputo dire perchè i pianeti avevano certe irregolarità nei loro movimenti, rappresentati dai loro epicicli. Keplero descrisse gli stessi movimenti molto più semplicemente e più brevemente per mezzo delle sue tre leggi sul moto planetario; ma se qualcuno gli avesse domandato perchè il movimento di un pianeta variava in certe date maniere, avrebbe potuto rispondere che ciò avveniva perchè tutti i pianeti si muovono in una ellisse,

così da percorrere aree uguali in tempi uguali. Keple
fu incapace a spiegare perchè ciò si verificava, quantu
que dedicasse molto tempo allo studio di questo sogget
A queste domande però fu risposto da Newton, che dim
strò come i moti planetari fossero necessarie consegue
della sua legge di gravitazione e delle sue leggi sul mot
Di più da queste stesse leggi, semplici nella enunciazion
come poche di numero, scaturivano, come conseguenz
necessarie, il movimento della Luna e molti altri feno
meni astronomici, come pure certi fenomeni comuni com
per es., la caduta dei gravi; così che moltissimi fatti osser
vati, rimasti fino allora isolati gli uni dagli altri, furon
collegati insieme come necessarie conseguenze di cert
leggi fondamentali. Ma il modo di considerare il sistem
solare secondo le vedute di Newton, potrebbe anche es
sere riguardato come un'esposizione descrittiva che i pia
neti, ecc., si muovono con accelerazioni di determinat
grandezza, gli uni verso gli altri. Siccome però la reale
posizione o velocità del movimento di un pianeta in qua-
lunque tempo può soltanto esser dedotta mediante calcoli
estremamente elaborati dalle leggi di Newton, perciò essi
non sono niente affatto evidentemente e chiaramente equi-
valenti ai movimenti celesti osservati, e perciò non vien
punto fatto di pensare ad essi calcoli come se fossero sem-
plici descrizioni (1).

Ora poi le leggi di Newton subito fanno venire alla

(1) A questo punto il lettore deve riflettere che l'Astronomia planetaria di Tolomeo e di Copernico, e, fino ad un certo punto anche quella di Keplero, è semplicemente Astronomia geometrica, mentre l'Astronomia da Newton in poi, è Meccanica razionale; l'Astronomia dei tre primi può avere più soluzioni, mentre l'Astronomia di Newton una sola, la quale non può essere annientata se non si annienta la Meccanica razionale o a meno alcuno de' suoi principî fondamentali.

(*N. d. Tr.*).

mente la domanda, perchè i corpi si attraggono in quel dato modo; ed a questa domanda, che Newton stesso trovava legittima, non sapeva che cosa rispondere. Si potrebbe inoltre domandare perchè i pianeti hanno quelle tali dimensioni, sono a quelle certe distanze dal Sole; e a queste domande anche Newton non avrebbe potuto dare nessuna risposta.

Ma alle domande lasciate senza risposta da Tolomeo, Copernico e Keplero, fu in tutto o in parte risposto dai loro successori, cioè essi dimostrarono che i fatti o le leggi non spiegati erano conseguenze necessarie di leggi più semplici e più generali; invece fino ai nostri giorni nessuno è stato capace di rispondere, in modo soddisfacente, a quelle domande lasciate da Newton senza risposta. Da questo lato per ciò le leggi di Newton segnano il confine delle nostre presenti cognizioni. Ma se alcuno riuscisse, quando che sia, a dimostrare che la gravitazione è una conseguenza di una legge ancora più generale, questa nuova legge porterebbe seco nuovi *perchè*.

Se, per altro, le leggi di Newton non possono essere riguardate come una ultimissima finale dei fenomeni del sistema solare, salvo che nel senso storico, cioè che non si è potuto ancora dimostrare che esse non dipendono da alcune altre leggi fondamentali, tuttavia il loro effetto di "*spiegare*" con meravigliosa precisione un sì grande numero di risultati osservati in ogni parte del sistema solare, e il loro carattere universale, fu di potente impulso all'idea di rendersi ragione di fatti osservati in altri rami della scienza, come la Chimica e la Fisica, in qualche maniera siccome conseguenza di forze che agiscono fra i corpi, e da ciò alla concezione dell'universo materiale come composto di un certo numero di corpi, agenti l'uno verso l'altro con forze definite, così che tutti i cambiamenti che vediamo succedersi sono necessarie conseguenze di queste forze, e possono essere preveduti da chi ha abbastanza

conoscenza delle forze e sufficiente perizia nelle Matematiche per svilupparne le conseguenze.

Comunque questa concezione dell'universo materiale sia giusta o no, ha però esercitato una grande influenza sopra le scoperte scientifiche, come pure sulle ricerche filosofiche; e benchè non fosse stata mai formulata da Newton e che qualche punto di essa fosse probabilmente da lui ripudiato, vi sono indizi che talune di queste idee erano nella sua mente, e che coloro i quali ritennero questa concezione come ferma e indubitabile, attinsero queste idee direttamente o indirettamente da lui.

195. Il metodo scientifico di Newton non differiva essenzialmente da quello seguito da Galileo (Cap. VI, § 134), che è stato variamente descritto come *completa induzione* o come il *metodo opposto al deduttivo;* la differenza nel nome corrisponde alla differenza nella importanza posta su parti diverse dello stesso processo generale. Certi fatti sono ottenuti da osservazioni ed esperimenti; una ipotesi o una teoria provvisoria è creata per render ragione di essi; da questa teoria si traggono, se è possibile, mediante un minuzioso processo di ragionamenti deduttivi, certe conseguenze atte ad essere paragonate coi fatti reali, e quindi il confronto è raggiunto. In qualche caso il primo procedimento può sembrare il più importante; ma nell'opera di Newton la parte veramente convincente della dimostrazione dei suoi resultati, consisteva nella verificazione contenuta nei due ultimi procedimenti. Ciò forse è stato alquanto offuscato dal suo famoso detto: “ *Hipotheses non fingo* „ (non faccio ipotesi), parole separate dal suo contesto. Le parole si trovano nella conclusione dei *Principia,* dopo aver parlato della gravitazione universale:

“ Io non sono stato ancora capace di dedurre (*deducere*) dai fenomeni la ragione di queste proprietà della gravitazione, e non formulo ipotesi, poichè tutto ciò che non può esser dedotto dai fenomeni, può chiamarsi ipotesi „.

Newton, forse, aveva in mente quelle tali speculazioni che sono i vortici di Cartesio, i quali non potevano esser dedotti direttamente dalla osservazione, e le conseguenze dei quali o non potevano essere effettuate e paragonate con fatti reali, od erano incompatibili con essi.

Difatti, Newton respingeva le ipotesi che non erano verificabili, ed egli fece sempre quelle ipotesi che erano suggerite dall'esame dei fatti e verificate dall'accordarsi delle loro conseguenze con nuovi fatti osservati. Esempio di ciò è l'avere estesa l'azione della gravità sino alla Luna (§ 173); egli conosceva certi fatti come il moto di corpi cadenti e il movimento della Luna; gli venne in mente che l'attrazione terrestre poteva comprendere anche la Luna; e certi altri fatti connessi con la terza legge di Keplero gli suggerirono la legge dell'inversa dei quadrati. Se ciò era vero, l'accelerazione della Luna verso la Terra doveva avere un certo valore, che poteva ottenersi col calcolo. Il calcolo fu fatto e si trovò che all'ingrosso si accordava col moto effettivo della Luna.

Di più, si può ancora soggiungere, come esempio della grande importanza della verificazione del processo, che le leggi fondamentali di Newton non furono rigorosamente stabilite da lui, ma che la deficienza delle sue dimostrazioni è stata ampiamente riparata dall'elaborato procedimento di verificazione, continuato dipoi. In verità discrepanze persistenti rimasero allorchè i moti del sistema solare, dedotti da Newton mercè la gravitazione e le leggi del moto, vennero a confronto con le osservazioni; e quantunque si sospettasse fortemente che esse fossero dovute alle imperfezioni necessarie dei processi di calcolo di Newton, ci è voluto gran lavoro ed abilità, per parte di molti matematici, per rimuovere ad una ad una queste discrepanze; e ne rimangono anche oggidì in verità pochissime, che non siano state spiegate. (Cap. XIII, § 290).

CAPITOLO X.

Astronomia di osservazione del XVIII secolo.

> Per opera di Newton la teoria sopravanzò l'osservazione; ora in quest'ultima si son fatti molti sforzi per portarla una volta di più all'altezza della teoria. BESSEL.

196. Newton virtualmente creò un nuovo ramo di Astronomia " l'*Astronomia gravitazionale* „ come è spesso chiamata, e lasciò in eredità ai suoi successori il problema di dedurre più ampiamente, di quello che egli non avesse fatto, i movimenti dei corpi celesti facendoli derivare dalla loro reciproca gravitazione.

Per la soluzione di questo problema i concittadini di Newton non porsero alcuna contribuzione durante il secolo XVIII, e i suoi veri successori furono parecchi matematici continentali, che cominciarono a mettersi all'opera subito dopo la sua morte, però quasi un mezzo secolo dopo la pubblicazione dei *Principia.* Questa deficienza nei matematici inglesi a sviluppare le scoperte di Newton può spiegarsi come dovuta in parte all'assenza o scarsità di uomini di vero ingegno, ma in parte anche alla forma matematica tutta speciale, con la quale Newton presentava le sue scoperte. I *Principia* sono scritti quasi interamente in linguaggio geometrico, modificato secondo che lo richiedevano i casi; quasi tutta la strada percorsa nell'Astronomia gravitazionale è stata fatta per mezzo dei metodi matematici, conosciuti sotto il nome di *Analisi.*

Benchè la distinzione fra i due metodi non possa essere pienamente apprezzata se non da coloro che li hanno adoperati tutti e due, si può forse avere qualche idea sulla loro differenza, dicendo che, col trattamento geometrico di un problema astronomico, ogni passo del ragionamento è espresso in modo da poter essere interpretato nei termini del problema originale; laddove, col trattamento analitico, il problema è dapprima espresso per mezzo di simboli algebrici; questi simboli sono costruiti secondo certe regole puramente formali, senza tener conto dell'interpretazione dei passaggi intermedi, ed il risultato finale algebrico, qualora si possa ottenere, si accorda con l'interpretazione del problema originale. La soluzione geometrica di un problema, se si può ottenere, è spesso più corta, più chiara e più elegante; ma d'altra parte, ogni problema speciale deve essere considerato a parte; laddove la soluzione analitica può esser fatta su più vasta scala, secondo regole fisse applicabili in un numero più grande di casi. Al tempo di Newton, l'analisi moderna appunto cominciava a formarsi, poichè molti ed importanti fatti di essa erano creazione di Leibniz e di lui stesso, e, quantunque egli adoperasse talvolta l'analisi per risolvere problemi astronomici, era solito tradurre il risultato in linguaggio geometrico prima di pubblicarlo; facendo così, probabilmente egli obbediva, più che altro, ad una preferenza tutta personale per l'eleganza delle dimostrazioni geometriche ed anche per una certa ritrosia a non aumentare le tante difficoltà contenute nei *Principia,* usando metodi matematici, che erano comparativamente meno famigliari. Ma benchè nelle mani di un maestro come Newton i metodi geometrici fossero capaci di produrre risultati maravigliosi, i minori uomini che li seguirono non furono quasi mai atti ad usare i suoi metodi per ottenere risultati al di là di quelli che egli stesso aveva raggiunti. Una eccessiva deferenza per Newton ed i suoi metodi, combinata con gli attriti che, per molto

tempo, sussisterono fra matematici stranieri ed inglesi, come, per esempio, risultato della controversia nel calcolo differenziale (Cap. IX, § 191), impedì ai primi di adoperare i metodi analitici, che vennero rapidamente perfezionati dai discepoli di Leibniz e da altri matematici continentali. I nostri matematici rimasero in tal modo quasi isolati durante tutto il XVIII secolo, e, ad eccezione di qualche lavoro ammirevole di *Colin Maclaurin* (1698-1746), che fece fare alla teoria di Newton sulla figura della Terra un passo più innanzi, nulla di qualche importanza fu fatto in Inghilterra per quasi un secolo dopo la morte di Newton, per sviluppare la teoria della gravitazione oltre il punto, in cui fu lasciata nei *Principia.*

In altre branche dell'Astronomia però dei progressi importanti furono fatti, sia durante la vita che dopo la morte di Newton; e, per una curiosa inversione, mentre le idee di Newton erano sviluppate principalmente dai matematici francesi, l'Osservatorio di Parigi, presso il quale Picard e altri avevano fatto un sì ammirabile lavoro (Cap. VIII, §§ 160-2), produsse ben poco che fosse di reale importanza per quasi un secolo dopo; la migliore e la maggior parte del lavoro di osservazione nel XVIII secolo fu fatta dai concittadini di Newton. Converrà intanto separare questi due generi di lavoro astronomico, e dedicare il prossimo capitolo allo sviluppo della teoria della gravitazione.

197. Il primo dei grandi osservatori inglesi contemporanei a Newton fu *Giovanni Flamsteed,* nato vicino a Derby nel 1646 e morto a Greenwich nel 1720 (1). Sfortunatamente, il carattere del suo lavoro fu tale che, non essendo

---

(1) Il 31 dicembre 1719, secondo il calendario non riformato (v. s.) allora in uso in Inghilterra. (*)

(*) In Inghilterra la soppressione di 11 dì ebbe luogo nel periodo 4-14 settembre 1752, cioè il domani del 3 settembre si disse 15.
(*N. d. Tr.*).

segnalato da nessuna grande e brillante scoperta, è difficile presentarlo sotto una forma attraente o di dare una idea adeguata della sua portata e della sua importanza. Egli era uno di quegli investigatori laboriosi e accurati, i cui resultati per sè stessi di gran valore come materiali per successive ricerche, non contenevano in sè nulla di brillante.

Egli fece osservazioni astronomiche quand'era ancora ragazzo, e scrisse parecchi opuscoli di carattere affatto tecnico sopra soggetti astronomici, giudicati degni di attenzione. Nel 1675, fu eletto membro di una Commissione per riferire su un metodo per determinare la longitudine in mare, che era stato offerto al Governo da un certo francese chiamato *St.-Pierre.* La commissione, che agiva in tutto e per tutto sotto il consiglio di Flamsteed, si pronunziò sfavorevolmente al metodo in questione; presentò un memoriale a Carlo II, perchè favorisse la fondazione di un Osservatorio nazionale allo scopo che più ampie cognizioni dei corpi celesti potessero condurre a un metodo soddisfacente, per trovare la longitudine, problema che il rapido incremento della flotta inglese rendeva di grande importanza pratica. Il re avendo assentito, Flamsteed fu nel medesimo anno nominato nel nuovo ufficio di astronomo reale, con un emolumento di 100 sterline all'anno, e l'ordine di costruire un Osservatorio a Greenwich fu firmato il 12 giugno 1675. Fu impiegato quasi un anno nella costruzione, e Flamsteed vi prese dimora stabile, e cominciò i suoi lavori nel luglio del 1676, cioè cinque anni dopo che Cassini entrasse per il suo nuovo ufficio all'Osservatorio di Parigi (Cap. VIII, § 160). L'Osservatorio di Greenwich era però ben inferiore in importanza a quello di Parigi. Il re, è vero, aveva provveduto Flamsteed di un fabbricato e di un piccolo stipendio, ma non gli aveva dato nè strumenti, nè un assistente. Egli possedeva già qualche strumento e pochi altri gli furono donati da amici

ricchi, poi, a poco a poco, ne comprò ancora altri a proprie spese, che costituivano un incremento strumentale di grande importanza. Qualche anno dopo la sua nomina, il Governo lo provvide di un assistente "sciocco e burbero" per aiutarlo nei lavori più grossolani; ma se volle un aiuto più abile ed idoneo, dovè provvederselo di sua tasca, e questa necessità lo costrinse, in breve volger di tempo, a dedicare un poco del suo prezioso tempo a dar lezioni.

198. Il gran lavoro di Flamsteed fu la compilazione di un più esteso e più esatto catalogo delle stelle in confronto di quelli già esistenti; fece altresì moltissime osservazioni sul Sole e sulla Luna e su altri corpi, ma meno estesamente. Come Tycho, l'autore dell'ultimo gran catalogo sulle stelle (Cap. V, § 107), rinvenne sempre nuovi problemi nel corso del suo lavoro, che dovevano essere risoluti prima del compimento del suo oggetto principale, e noi dobbiamo a lui l'invenzione di parecchi processi in Astronomia pratica: il più conosciuto è il metodo di trovare la posizione del primo punto d'Ariete (Cap. II, § 42), uno dei punti fondamentali, in relazione al quale, le posizioni degli astri sulla sfera celeste sono riferite. Fu il primo astronomo che si servisse sistematicamente di un orologio per determinare una delle due quantità fondamentali (l'ascensione retta), necessaria per fissare la posizione di una stella, metodo che fu prima suggerito e anche, fino a un certo punto, usato da Picard (cap. VIII, § 157); ed appena potè avere i necessari strumenti, usò regolarmente telescopi di Gascoigne e di Auzout (Cap. VIII, § 155), invece di fare osservazioni ad occhio nudo, e però Hevel (Cap. VIII, § 153) fu l'ultimo ed il più acuto osservatore della vecchia scuola, che abbia usato metodi non essenzialmente diversi da quelli che erano stati adoperati per secoli. Flamsteed appartiene alla nuova scuola, ed il suo metodo differisce piuttosto nei particolari che nel principio da quelli ora in uso per tali lavori a Greenwich, a Parigi, o a Washington. L'adottare i

nuovi metodi insieme con la più scrupolosa cura dei particolari, resero le osservazioni di Flamsteed infinitamente più esatte di qualunque altre fatte al tempo suo o anteriormente; spettava poi a Bradley di far fare il vero e definitivo progresso. (§ 218).

Il confronto che facciamo di Flamsteed con molti altri osservatori è a lui favorevole in quanto che egli non si contenta solo di fare e di registrare le osservazioni, ma compie anche il tedioso processo, conosciuto sotto il nome di " riduzione „ (§ 218), per il quale i resultati della osservazione sono posti in una forma, che si adatta all'uso di altri astronomi; questo processo è compiuto negli Osservatori moderni abitualmente dagli assistenti; ma, nel caso di Flamsteed, bisognava che fosse quasi esclusivamente fatto dall'astronomo stesso. Per queste ed altre cause, egli era lentissimo nel pubblicare le osservazioni; abbiamo già parlato (Cap. IX, § 192) delle difficoltà che incontrava Newton per avere da lui le osservazioni lunari; e finalmente, dopo qualche tempo, si comprese quasi in generale dagli astronomi che lo scopo, per il quale era stato fondato l'Osservatorio, non era del tutto raggiunto. Flamsteed aveva salute malferma e strettezze pecuniarie, ed altre difficoltà che abbiamo accennate; oltre di che gli premeva di più di non far pubblicare le sue osservazioni, finchè non fossero, per quanto era possibile, esatte, che pubblicarle in una forma imperfetta, e che fossero impiegate per ricerche che egli una volta chiamò " I capricci del signor Newton; „ e ciò perchè si ebbe a male delle rimostranze che gli furono fatte per l'indugio delle sue pubblicazioni. Dolorosi litigi ebbero luogo tra Flamsteed da una parte e Newton e Halley dall'altra. L'ultima questioncella nacque a causa di una pubblicazione non autorizzata, fatta nel 1712, sotto la direzione di Halley, di un volume delle osservazioni di Flamsteed; un modo di procedere che permise a Flamsteed di chiamare Halley " ladro malizioso. „ Tre anni dopo gli

riuscì di ricuperare tutte le copie non vendute e le distrusse; ma fortunatamente venne stimolato a preparare per la stampa una nuova edizione autentica. La *Historia coelestis Britannica*, come egli chiamò il libro, conteneva una lunghissima serie di osservazioni fatte prima e dopo la sua carriera a Greenwich; ma la parte più importante e più duratura consisteva di un catalogo della posizione di quasi 3000 stelle (1).

Flamsteed visse appunto tanto da finire il secondo dei tre volumi; il terzo fu pubblicato dai suoi assistenti *Abram Sharp* (1651-1742) e *Giuseppe Crosthwait;* e l'intiera opera fu pubblicata nel 1725. Quattro anni dopo comparve il suo pregevole *Atlante delle stelle*, che rimase per lungo tempo di uso comune.

Il catalogo non solamente era tre volte più esteso di quello di Tycho, al quale virtualmente successe, ma era anche fatto con molta maggior esattezza. È stato giudicato che (2), laddove le determinazioni di Tycho sulla posizione delle stelle erano in media errate di 1′, i corrispondenti errori in Flamsteed erano di circa 10″. Questa quantità è il diametro apparente di uno scellino veduto alla distanza di 500 iarde (3); così che se due segni si facessero in punti opposti sull'orlo della moneta, ed essa fosse posta alla distanza di 500 iarde, i due segni potrebbero essere presi per rappresentare la vera direzione di una stella presa come posizione media e ad un tempo come direzione data dal catalogo di Flamsteed. In alcuni casi, naturalmente, l'errore può essere molto maggiore ed in altri considerevolmente minore.

---

(1) Il numero apparente è 2935, ma 12 di esse sono duplicate.

(2) Da Bessel (Cap. XIII, § 277).

(3) Cioè il diametro apparente di una lira italiana visto alla distanza di m. 474.

(*N. d. Tr.*).

Flamsteed non introdusse in Astronomia nessuna idea di grande importanza; non ebbe l'abilità di Picard e di Roemer inventando miglioramenti strumentali, e s'interessò pochissimo del lavoro teorico di Newton (1). Ma con la sua assiduità instancabile e la esattezza scrupolosa, egli lasciò ai suoi successori un immenso tesoro di osservazioni, eseguite con tutta quella precisione che i suoi strumenti gli permettevano.

199. Successe a Flamsteed, come astromono reale, *Edmondo Halley,* del quale abbiamo già parlato (Cap. IX, § 176), come amico e aiuto di Newton.

Nato nel 1656, dieci anni dopo Flamsteed, studiò Astronomia nei suoi primi anni, e pubblicò un lavoro sulle orbite dei pianeti, già nel 1676. Nello stesso anno partì per Sant'Elena (lat. 16° sud) a scopo di fare osservazioni di stelle che erano troppo vicine al polo sud per essere visibili in Europa. Il clima non gli si confaceva, e, solo dopo il suo ritorno, potè pubblicare (1678) un catalogo delle posizioni di 341 stelle del sud, che costituivano, per altro, un contributo importante alla conoscenza esatta delle stelle. Il catalogo fu altresì notevole per essere il primo basato su osservazioni telescopiche, quantunque pare che le osservazioni non sieno state tanto esatte quanto dai suoi strumenti si poteva attendere. Durante il suo soggiorno a Sant'Elena fece pure molte osservazioni sul pendolo, le quali confermavano i resultati ottenuti pochi anni prima da Richer a Caienna (Cap. VIII, § 161), e osservò ancora un passaggio di Mercurio attraverso il Sole, che avvenne nel novembre 1677.

---

(1) La relazione fra il lavoro di Flamsteed e quello di Newton fu espressa con più esattezza che buon gusto dai due stessi astronomi, durante una questione sulla teoria lunare. « Sir Isaac ha lavorato col minerale da me scavato », — « Se egli ha scavato il minerale, io ne ho fatto un anello d'oro. »

Dopo il suo ritorno in Inghilterra, prese una parte attiva alle questioni scientifiche, che si agitavano allora, particolarmente a quelle riguardanti l'Astronomia, e portò alcune piccole contribuzioni su tal soggetto. Nel 1684, come abbiamo veduto, fu effettivamente in relazione con Newton, e spese gran parte dei pochi anni, che gli rimanevano, aiutandolo nei suoi *Principia*.

200. Fra tutte le sue numerose contribuzioni all'Astronomia, che riguardavano quasi ogni ramo di essa, il suo lavoro sulle comete è il più conosciuto e probabilmente il più importante. Egli osservò le comete nel 1680 e 1682; egli definì l'orbita di esse come di parecchie altre comete ricordate, secondo i principî di Newton, e contribuì non poco al materiale contenuto in quella parte dei *Principia*, che si occupa delle comete, particolarmente nelle ultime edizioni. Nel 1705, pubblicò una *Sinossi dell'Astronomia cometaria*, in cui erano calcolate non meno di 24 orbite di comete. Colpito dalla somiglianza esistente fra le orbite descritte dalle comete del 1531, del 1607 e del 1682, e dalla approssimativa eguaglianza degl'intervalli delle loro apparizioni, e quella di una quarta cometa veduta nel 1456, egli, con molta sagacia, congetturò che le ultime tre comete, se non tutte e quattro, erano in realtà diverse manifestazioni della stessa cometa che girava intorno al Sole in una ellisse allungata in un periodo di quasi 75 o 76 anni. Spiegò la differenza fra i 76 anni che separano l'apparizione della cometa nel 1531 e nel 1607, e il periodo pochissimo più corto che passava fra il 1607 e il 1682, come dovuto probabilmente alle perturbazioni prodotte dai pianeti, vicino ai quali la cometa era passata; e finalmente predisse il probabile ritorno della stessa cometa (la quale ora debitamente porta il suo nome) circa 76 anni dopo la sua ultima apparizione, cioè circa il 1758, quantunque egli sapesse che le perturbazioni planetarie potevano variare il tempo della sua comparsa; e l'effettiva

comparizione della cometa al tempo predetto (Cap. XI, § 231) segnò un'êra importante nel cammino delle nostre cognizioni su questi corpi erranti e sempre preoccupanti.

201. Nel 1693, Halley lesse dinanzi alla Società Reale una Nota, con la quale richiama l'attenzione sulle difficoltà di conciliare certe antiche eclissi col noto movimento della Luna, e riferì sulla possibilità di un leggiero aumento sulla velocità media del suo movimento intorno alla Terra.

Questa irregolarità, ora conosciuta sotto il nome di *Secolare accelerazione del moto medio della Luna,* fu in seguito definita più stabilmente come un fatto osservato; e le difficoltà incontrate per spiegarla in relazione alla gravitazione, la resero una delle più interessanti fra le irregolarità della Luna (cfr. Cap. XI, § 240 e Cap. XIII, § 287).

202. Halley rese anche un buon servigio all'Astronomia richiamando l'attenzione sull'importanza dell'aspettato passaggio di Venere davanti al Sole nel 1761 e poi nel 1769, come mezzo per determinare la distanza del Sole. Il metodo era stato suggerito assai vagamente da Keplero, e più definitivamente da Giacomo Gregory nella sua *Ottica,* pubblicata nel 1663. L'idea fu dapprima suggerita a Halley dalle sue osservazioni del passaggio di Mercurio nel 1677. In tre opuscoli, pubblicati dalla Società Reale, egli parla con calore dei vantaggi del metodo, e discute, con qualche particolare, i luoghi e i mezzi più propri per osservare il passaggio del 1761. Egli dimostrò che i risultati desiderati potevano essere dedotti dal paragone del passaggio di Venere, veduto da diversi luoghi della Terra, cioè dagl'intervalli fra la prima comparsa di Venere sul disco solare e la scomparsa finale, veduta da due o più punti diversi. Egli calcolò pertanto che quest'intervallo di tempo, che durerebbe parecchie ore, potrebbe essere misurato con un errore di due secondi circa, e che, per conseguenza, si poteva asserire che questo metodo poteva dare la distanza del Sole con un errore di quasi $\frac{1}{500}$ del suo vero valore. Sic-

come i valori di allora della distanza del Sole differivano gli uni dagli altri del 20 o 30 %, il nuovo metodo, esposto da Halley con la sua solita lucidità e il suo solito entusiasmo, naturalmente stimolò gli astronomi a darsi premura per seguire le raccomandazioni di Halley. I risultati, come vedremo (§ 227), non corrisposero, per altro, in nessun conto, all'aspettazione di Halley.

203. Nel 1718, Halley richiamò l'attenzione sul fatto che tre stelle ben conosciute, Sirio, Procione ed Arturo, avevano cambiato le loro distanze angolari dall'eclittica fino dal tempo dei Greci, e che Sirio aveva perfino cambiato la sua posizione visibilmente fino dal tempo di Tycho Brahe. Inoltre, paragonando le posizioni di altre stelle, egli dimostrava che i cambiamenti non potevano attribuirsi ragionevolmente a nessun movimento dell'eclittica; e benchè egli fosse ben consapevole che i possibili errori di osservazione erano tali da produrre una considerevole incertezza nei risultamenti, egli sentiva con sicurezza che tali errori non potevano soltanto corrispondere alle discrepanze notate, ma che le stelle in questione dovevano realmente aver mutato le loro posizioni assolute; ed egli naturalmente suggeriva che sarebbe possibile di svelare tali *movimenti propri* (come sono chiamati ora) anche in altre stelle pur chiamate " fisse ".

204. Egli altresì dedicò gran parte del suo tempo al problema astronomico, allora in istudio, di perfezionare le tavole della Luna e dei pianeti, e specialmente della Luna. Fece osservazioni sulla Luna fino dal 1683, e, senza dubbio, da esse trasse il miglioramento delle sue tavole. Nel 1676, aveva già notato dei difetti nelle tavole esistenti di Giove e di Saturno, e ultimamente si prese la soddisfazione di comprovare certe irregolarità nei movimenti di questi due pianeti, sospettate già da tempo da Harrocks (Cap. VIII, § 156); queste irregolarità egli le attribuì con ragione alle reciproche perturbazioni dei due pianeti, quantunque non

fosse assai versato in Matematica da portare a compimento la teoria; per via di osservazioni però fu abile a calcolare le irregolarità in questione con assai esattezza ed a perfezionare le tavole dei pianeti facendo in esse delle correzioni. Ma nè le tavole lunari, nè le planetarie furono mai completate in una forma che a lui paresse soddisfacente. Intorno al 1719, furono stampate, ma non pubblicate, con la speranza di potervi apportare nuovi miglioramenti. Dopo la sua nomina all'ufficio di astronomo reale, successo a Flamsteed (1720), dedicò la sua attenzione a nuove speciali osservazioni collo scopo sopraddetto; ma trovò l'Osservatorio quasi affatto privo di strumenti, siccome quelli che adoperava Flamsteed erano di sua proprietà, e perciò erano stati ripresi o dai suoi eredi o dai suoi creditori. Nondimeno Halley si procurò gli strumenti e fece, per mezzo di essi, moltissime osservazioni, specialmente sulla Luna; ma l'età (63 anni), che aveva quando assunse l'ufficio, gli impedì di fare grandi cose, o di adempiere ai suoi doveri con molta energia; e le osservazioni fatte erano perciò di secondaria importanza, mentre le tavole, al miglioramento delle quali le osservazioni erano state fatte, furono finalmente pubblicate, ma soltanto nel 1752, dieci anni dopo la morte del loro autore. Quantunque apparse molti anni dopo il tempo in cui erano state virtualmente preparate, e però di poco vantaggio al progresso della scienza in questo lasso di tempo, tuttavia esse subito divennero e rimasero dipoi le tavole per eccellenza per ambedue i movimenti lunare e planetario. (Cfr. § 226 e Cap. XI, § 247).

205. La notevole versatilità di Halley per i lavori scientifici è messa in evidenza da prima dal lavoro che egli sostenne per pubblicare gli scritti del gran geometra greco Apollonio (Cap. II, § 38) e dal Catalogo di stelle di Tolomeo (Cap. II, § 50). Egli fu pure uno dei primi astronomi moderni che richiamassero particolarmente l'attenzione sui fenomeni osservabili durante un eclisse totale di

Sole; e nella vivace descrizione che egli fece dell'eclisse del 1715, oltre all'accennare alla misteriosa corona che Keplero ed altri avevano da tempo notata (Cap. VII, § 145), egli richiamò l'attenzione anche su " una strettissima striscia, mal definita, di luce rossa scura ", che era evidentemente una porzione di quel notevole involucro del Sole, studiato così estesamente al giorno d'oggi (Cap. XIII, § 301), sotto il nome di " cromosfera ".

È degno di nota, come esempio del disinteressato entusiasmo di Halley per la scienza e della sua abilità di tenere in vista l'avvenire, che due dei suoi più importanti lavori, per i quali è ora certamente più conosciuto, necessariamente sembrarono, mentre fu in vita, di poco valore, e solo portarono i frutti dopo la sua morte (1742); poichè la sua cometa ritornò soltanto nel 1759, cioè diciassette anni dopo la sua morte, e il primo dei due passaggi di Venere, mediante il quale egli assegnò il metodo di calcolare la distanza dal Sole, ebbe luogo due anni più tardi (§ 227).

206. Il terzo astronomo reale, Giacomo Bradley, è popolarmente conosciuto come l'autore di due memorabili scoperte, cioè l' " Aberrazione della luce, " e la " Nutazione dell'asse terrestre. " Notevoli come sono, e per sè stesse e per l'ingegnoso ed acuto ragionamento con cui sono giustificate, e per le minuziose ed esatte osservazioni da cui derivarono, si possono considerare, in verità, come casi che si verificano in una lunga ed attiva carriera astronomica, nella quale era stata raccolta una gran quantità di materiale di reale valore.

Gli avvenimenti che riguardano la vita di Bradley possono essere brevemente accennati. Nato nel 1693, fece i corsi regolari ad Oxford (baccelliere nel 1714 e laureato nel 1719), ma acquistò le prime cognizioni nell'Astronomia e il gusto pronunziato per questa scienza da suo zio Giacomo Pound, rettore per varî anni di Wansteed in Essez,

uno dei migliori Osservatorî del tempo. Bradley visse con suo zio per qualche anno, dopo aver lasciato Oxford, e, di concerto con lui, fece numerose osservazioni. La prima osservazione fatta da Bradley porta la data del 1715, e, nel 1718, si aveva di lui nel mondo scientifico una tale stima, che gli fu fatto l'onore di esser nominato membro della Società Reale; ma, come osserva il suo biografo (1): " non era prevedibile che i suoi lavori astronomici potessero assicurargli uno stato agiato nella vita; perciò gli fu mestieri abbracciare una professione. „ Prese quindi gli ordini ecclesiastici, ed ebbe la fortuna di goder subito di due benefizi, i doveri dei quali pare non abbiano in alcun modo intralciato i suoi studi astronomici a Wansteed.

Nel 1721, fu destinato professore Saviliano di Astronomia ad Oxford; allora abbandonò i benefizi ecclesiastici. I suoi doveri professionali sembrano essere stati assai leggeri, e, per più di due anni, continuò a dimorare a Wansteed, anche dopo la morte dello zio (1724). Nel 1732 prese una casa ad Oxford e vi trasportò la maggior parte dei suoi strumenti, lasciando però a Wansteed il più importante di tutti, il *Settore zenitale*, col quale furono fatte le sue due famose scoperte. Dieci anni dopo la morte di Halley, resosi vacante il posto di astronomo reale, esso fu assegnato a Bradley.

Il lavoro dell'Osservatorio era stato assai trascurato da Halley negli ultimi tempi della sua vita; e primo pensiero di Bradley fu di fare qualche riparazione indispensabile agli strumenti. Quantunque l'arredare l'Osservatorio d'istrumenti degni del posto che occupava e dello stato della scienza di quel tempo fosse lavorìo di anni, Bradley ebbe alcuni dei suoi più importanti istrumenti in buon ordine

---

(1) Rigaud, nelle « Memorie, » poste come prefazione alla *Miscellaneous Works* di Bradley.

e atti al funzionamento solo dopo pochi mesi dalla sua nomina, e da quel momento le osservazioni furono fatte sistematicamente. Benchè gli ultimi venti anni della sua vita (1742-1762) più che altro li passasse a Greenwich, per il disbrigo dei suoi doveri e per ricerche collegate ad essi, mantenne il professorato ad Oxford, e continuò a fare osservazioni a Wansteed almeno fino al 1747.

207. La scoperta dell'aberrazione fu fatta dietro il tentativo di mettere in luce uno spostamento parallattico delle stelle, il quale potesse derivare dal moto annuale della Terra. Fin da quando la controversia Copernicana aveva richiamato l'attenzione sull'importanza del problema (cfr. Cap. IV, § 92, e Cap. VI, § 129), essa aveva necessariamente esercitato un fàscino sulle menti degli astronomi osservatori, molti dei quali avevano tentato di scoprire il moto in questione, e alcuni di essi (compreso Hooke, che addirittura pretendeva alla priorità) dichiaravano di esserci riusciti. Finallora peraltro ogni ulteriore tentativo andò fallito, e Bradley non fu più fortunato dei suoi predecessori su questo punto, ma potè dedurre dalle osservazioni fatte due risultati di grande importanza e di carattere affatto inaspettato.

Il problema che si era proposto consisteva nello esaminare, se si potesse scorgere che una qualunque stella, nel corso dell'anno, avesse un lieve movimento, sia relativamente ad altre stelle, che relativamente ad un punto fisso della sfera celeste, come, per es., il polo. Si sapeva che un tal movimento, posto che esistesse, doveva essere piccolissimo, ed era perciò evidente che abbisognava una estrema delicatezza nel disporre gli strumenti, e la massima esattezza nell'osservazione. Bradley lavorò dapprincipio insieme col suo amico Samuele Molyneux (1689-1728), che aveva eretto un telescopio a Kew, secondo il metodo adottato in una ricerca consimile da Hooke, il cui resultato era desiderabile verificare; il telescopio fu fissato in posizione quasi verticale, in modo che una certa data stella

nel "Dragone„ (γ *Draconis*) entrasse nel campo del telescopio, quando essa traversava il meridiano, e il telescopio fu montato con gran diligenza, da mantenere una posizione fissa durante tutto l'anno. Perciò se la stella in questione avesse risentito un movimento anche leggero, che alterasse la sua distanza dal polo, vi doveva essere corrispondente cambiamento nella posizione, nella quale sarebbe veduta nel campo di visione del telescopio. Le prime osservazioni furono fatte il 14 dicembre 1725 (n. s.), e il 18 dicembre Bradley credè aver notato un leggero spostamento della stella verso sud. Questo movimento fu chiaramente verificato il 1° gennaio, e fu anche osservato che esso continuava; il marzo seguente la stella raggiunse la sua estrema posizione sud, e poi ricominciò a muoversi verso Nord. Nel settembre di nuovo cambiò la direzione del suo movimento, e, alla fine dell'anno, aveva terminato il ciclo dei suoi cambiamenti ed era ritornata nella sua posizione primitiva; il maggiore spostamento ammontava a 40″.

Rimaneva così osservato che la stella compiva *qualche* movimento annuale. Però Bradley evidentemente vide subito che questo non era il moto parallattico che egli ricercava, perchè la posizione della stella era tale che la parallasse l'avrebbe fatta apparire più lontana verso sud in dicembre e più lontana verso nord in giugno, o, in ambedue i casi, tre mesi prima di quel che non fu nelle effettive osservazioni. Un'altra spiegazione, che veniva da sè, era che l'asse della Terra potesse avere un movimento oscillatorio di va e vieni, o di nutazione, che avrebbe fatto cambiare la posizione del polo celeste, e perciò avrebbe prodotto un cambiamento equivalente nella posizione della stella. Un tal movimento del polo celeste avrebbe prodotto effetti opposti in due stelle situate in due luoghi opposti al polo, poichè ogni movimento atto a portare il polo più vicino ad una delle due stelle, necessariamente lo avrebbe

scostato dall'altra. Quindici giorni prima della osservazione decisiva, fatta il 1° di gennaio, era già stata scelta una stella (1) per fare questa prova, col resultato che è meglio riferire con le parole stesse di Bradley:

" Una nutazione dell'asse della Terra fu una delle prime cose presentatasi da se stessa in questa occasione; ma trovai subito che essa era insufficiente; poichè, quantunque potesse spiegare il mutamento di declinazione in γ *Draconis*, non andava parimente d'accordo coi fenomeni di altre stelle; particolarmente di una piccola stella quasi opposta in ascensione retta a γ *Draconis*, e circa alla stessa distanza dal polo Nord dell'Equatore; poichè, quantunque questa stella sembrasse avere lo stesso movimento di quello di una nutazione dell'asse della Terra, pure, cambiando essa la sua declinazione solo quasi per la metà di quella di γ *Draconis* nel medesimo tempo (come risultava dal confronto delle osservazioni di ambedue le stelle negli stessi giorni, in stagioni differenti dell'anno), ciò chiaramente provava che il moto apparente delle stelle non derivava da una vera e propria nutazione; dappoichè, se questa ne fosse stata la causa, il cambiamento in ambedue le stelle sarebbe stato quasi uguale ".

Una o due altre spiegazioni furono provate e trovate insufficienti, e come risultato di una serie di osservazioni, che si protrassero per quasi due anni, fu che ancora il fenomeno in questione, quantunque perfettamente stabilito, rimaneva del tutto inesplicato.

Intanto Bradley aveva montato uno strumento suo proprio a Wansted, collocato in modo da poter osservare con esso i moti di altre stelle oltre γ *Draconis*. Parecchie stelle furono diligentemente osservate per un anno, e le osservazioni così ottenute diedero a Bladley una ben com-

(1) Una stella telescopica chiamata « 37 Camelopardi » nel *Catalogo* di FLAMSTEED.

piuta nozione delle leggi geometriche, secondo le quali i movimenti variano da stella a stella e nel corso dell'anno.

208. La vera spiegazione dell'*aberrazione*, come fu chiamato dipoi il fenomeno in questione, sembra averla trovata circa nel settembre del 1728 e fu fatta conoscere alla Società Reale, dopo alcune verificazioni, sui primi dell'anno seguente. Secondo una storia ben conosciuta (1) egli notò, mentre navigava sul Tamigi, che una banderuola sull'albero maestro cambiava direzione ogni volta che il battello cambiava rotta, e fu informato dai marinai che questo cambiamento non era dovuto alla diversa direzione del vento, ma alla diversa rotta della nave. Infatti la direzione apparente del vento, come era indicata dalla banderuola, non era la vera direzione di esso, ma risultava da una combinazione dei movimenti del vento e del battello, essendo più precisamente quella del movimento del vento *relativa* al battello. Sostituendo nella sua immaginazione il vento alla luce proveniente da una stella, e il battello che cambiava rotta alla Terra, che si muove intorno al Sole e continuamente cambia la direzione del suo moto, Bradley pervenne ad una spiegazione, la quale, perfezionata nei suoi particolari, fu trovata rispondere appieno e in modo soddisfacente all'apparente variare della direzione della stella, che egli era andato studiando. Il suo accenno intorno a ciò è il seguente:

" Finalmente io congetturai che tutti i fenomeni fin qui mentovati procedessero dal moto progressivo della luce e dal moto annuale della Terra nella sua orbita. Poichè

---

(1) Il racconto si trova nella *Storia della Società Reale di* Thomson T., pubblicata più di ottant'anni dopo (1812); ma non mi è venuto fatto di trovare nessuna autorità antecedente che ne facesse testimonianza. Il racconto dello stesso Bradley, sulla sua scoperta, dà un'infinità di particolari, ma non allude per nulla a quest'incidente.

io mi accorsi che se la luce metteva tempo a propagarsi, la posizione apparente di un oggetto fisso non può essere la medesima, quando l'occhio è fermo, che quando si muove in qualunque altra direzione, diversa da quella della retta che passa per l'occhio e l'oggetto; e che quando l'occhio percorre direzioni diverse, il luogo apparente dell'oggetto sarebbe diverso.

" Io considerai la cosa nel modo seguente: Immaginai che *C A* fosse un raggio di luce, che cadesse perpendicolarmente sulla retta *B D*, allora se l'occhio è fisso in *A*, l'oggetto deve apparire nella direzione *A C*, sia che la luce si propaghi istantaneamente o no. Ma se l'occhio si muove da *B* ad *A* e la luce giunge con una velocità che sta alla velocità dell'occhio come *C A* sta a *B A*, allora muovendosi la luce da *C* ad *A* mentre l'occhio si muove da *B* ad *A*, l'impulso luminoso, per mezzo del quale l'occhio discernerà l'oggetto, sarà veduto non nella direzione *C A*, ma bensì nella direzione *B C*. Unendo i punti *B C*, io immaginai che la retta *C B* fosse un tubo (inclinato sulla retta *B D* dell'angolo *D B C*) di tal diametro da ammettere soltanto una particella di luce; fu dunque facile concepire che la detta particella in *C* (per virtù della quale l'oggetto deve essere veduto, quando l'occhio che si muove arriva in *A*) passerebbe attraverso il tubo *B C*, se fosse inclinato su *B D* dell'angolo *D B C*, e accompagnerebbe l'occhio nel suo moto da *B* ad *A*, e che non potrebbe giungere all'occhio situato dietro un tal tubo se avesse una qualunque altra inclinazione sulla retta *B D*.

Fig. 74. — *L'aberrazione della luce.* Dallo scritto di BRADLEY nel *Phil. Trans.*

" Quantunque però la vera e reale posizione di un oggetto sia perpendicolare alla retta, lungo la quale l'occhio

si muove, nondimeno il luogo visibile non sarà tale, dal momento che esso, senza dubbio, deve essere in direzione del tubo; ma la differenza fra la posizione vera e la posizione apparente sarà (*coeteris paribus*) maggiore o minore, secondo la diversa proporzione fra la velocità della luce e quella dell'occhio. Così che, potendo immaginare la luce propagata istantaneamente, non vi sarebbe differenza fra la vera posizione dell'oggetto e l'apparente, benchè l'occhio si muova, poichè, in quel caso, $A\ C$ essendo infinito rispetto ad $A\ B$, l'angolo $A\ C\ B$ (la differenza fra la posizione reale e l'apparente) sparisce. Ma se la luce si propagasse non istantaneamente (cosa che io credo concessa dalla maggior parte dei filosofi di quest'età), riesce evidente, mediante le considerazioni accennate, che vi sarebbe sempre una differenza fra la posizione reale e l'apparente di un oggetto, a meno che l'occhio non si muova in un senso o nell'altro, ma nella direzione della luce „.

La spiegazione di Bradley dimostra che la posizione apparente di una stella è determinata dal moto della luce della stella in relazione con la Terra, così che la stella apparisce pochissimo più vicina a quel punto sulla sfera celeste, verso il quale la Terra si muove, di quel che non sarebbe nel caso diverso. Un esempio comune di un effetto precisamente analogo potrebbe forse essere utile. Una persona che cammini in un giorno di pioggia, ma senza vento, si proteggerà meglio tenendo l'ombrello non proprio sulla testa, ma un pochino in avanti, precisamente come se egli stesse fermo e che un vento leggero gli soffiasse in faccia. Infatti, egli, non tenendo conto del suo movimento e badando soltanto alla direzione più acconcia, secondo lui, per tener l'ombrello, gli potrebbe parere di sentire un vento leggero contrario.

209. Il luogo citato dello scritto di Bradley si adatta solamente al caso semplice di una stella che fa un angolo retto con la direzione del movimento della Terra. Egli dimo-

strò altresì che se la stella fosse in qualunque altra direzione, l'effetto sarebbe lo stesso, ma in complesso minore. Nella figura di Bradley (fig. 74) l'intiero spostamento della stella dalla sua vera posizione, è rappresentato dall'angolo *B C A*, che dipende dal rapporto fra le rette *A C* e *A B*; ma se (come nella fig. 75) la Terra si muove (senza cambiamento di velocità) nella direzione *A B′* invece che *A B*, così che la direzione della stella è obliqua ad essa, è evidente dalla figura che lo spostamento della stella, rappresentato dall'angolo *A C B′*, è minore di prima, e che la quantità varia secondo una legge matematica semplice (1) con l'angolo fatto dalle due direzioni. Ne segue perciò che lo spostamento in questione è diverso in stelle diverse, come l'osservazione di Bradley aveva dimostrato, ed è, per di più, diverso per la medesima stella nel corso dell'anno; così che una stella descrive una curva che è quasi una ellisse (fig. 76), il centro *(S)* corrispondente alla posizione che la stella occuperebbe se l'aberrazione non esistesse.

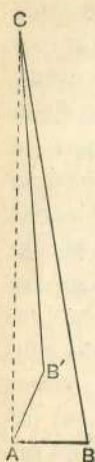



Fig. 75.
L'aberrazione della luce.

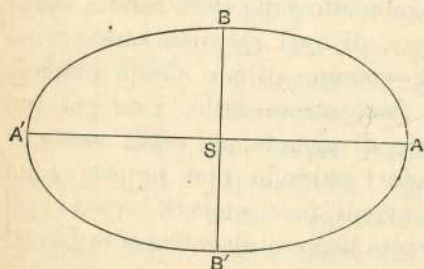



Fig. 76. - *L'ellissi aberrazionale.*

Non è difficile scorgere che, in qualunque luogo una stella sia situata, il moto della Terra è due volte all'anno, a intervalli di sei mesi, ad angolo retto con la direzione della stella medesima, e che, in questi tempi, la stella riceve il maggiore spostamento dalla sua

(1) È k *sen* $C A B$, dove k è la costante di aberrazione.

media posizione, e per conseguenza, alle estremità del maggior asse dell'ellisse da essa descritta, come in A ed A', mentre nelle epoche intermedie è sottoposta al suo più piccolo spostamento, come in B e B'. Il più grande spostamento $S A$ o metà di $A A'$, che è uguale per tutte le stelle, è conosciuto sotto il nome di *costante di aberrazione* e fu fissato da Bradley fra i 20″ e 20 $^1/_2$″; il valore, accettato oggidì è 20″,47. D'altra parte, il minore spostamento $S B$ o metà di $B B'$ è legato in un modo semplice alla distanza della stella dall'eclittica, essendo maggiore nelle stelle più lontane dall'eclittica.

210. La costante di *aberrazione,* che è rappresentata dall'angolo $A C B$ nella fig. 74, dipende solamente dal rapporto fra $A C$ ed $A B$, che sono, alla lor volta, proporzionali alla velocità della luce e della Terra. Le osservazioni sull'aberrazione dànno quindi il rapporto di queste due velocità.

Dalla determinazione di Bradley della costante dell'aberrazione, ne segue, con un calcolo facilissimo, che la velocità della luce è 10,000 volte quella della Terra; Bradley formulò questo resultato, dicendo che la luce impiega per venire dal Sole alla Terra 8 minuti e 13 secondi. Dall'osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove, Roemer e altri avevano calcolato questo stesso intervallo fra gli 8 e gli 11 minuti (Cap. VIII, § 162); e Bradley così potè avere una soddisfacente conferma della verità della sua scoperta. Una volta stabilita la aberrazione, lo stesso calcolo potrebbe essere adoperato per esprimere la velocità della luce in funzione delle dimensioni dell'orbita della Terra, la determinazione dell'aberrazione essendo suscettibile di una approssimazione considerevolmente maggiore delle misure corrispondenti, richieste dal metodo di Roemer.

211. Una difficoltà nella teoria dell'aberrazione merita di essere ricordata. La spiegazione di Bradley, citata di sopra, considera la luce come una sostanza materiale emanata dalla stella o da altro corpo luminoso; e ciò secondo

la teoria corpuscolare della luce, avvalorata dall'autorità di Newton; ed era comunemente accettata nel secolo XVIII. I fisici moderni, però, hanno interamente abbandonata la teoria corpuscolare, e riguardano la luce come un movimento ondulatorio che si trasmette per mezzo dell'etere. Da questo punto di vista, la spiegazione di Bradley e le illustrazioni date dalla Fisica, sono molto meno convincenti; la questione, infatti, diviene di grandissima difficoltà, e si può dire che le più accurate ed elaborate ricerche moderne non sono affatto soddisfacenti. È curioso osservare che, se le moderne cognizioni sulla luce fossero prevalse al tempo di Bradley, gli sarebbe stato difficile, se non impossibile affatto, dare, come egli diede, le sue spiegazioni dei moti delle stelle, che egli stava studiando; e così una teoria errata condusse ad una importantissima scoperta.

212. Bradley non aveva naturalmente dimenticato lo scopo primo delle sue investigazioni. Egli fu nondimeno soddisfatto nello scorgere che l'accordo fra le posizioni osservate di γ *Draconis* e quelle resultanti dall'aberrazione, era così stretto, che ogni spostamento esistente da una stella dovuto alla parallasse, doveva certamente esser minore di 2″ e probabilmente non più di $^1/_2$″, così che quella grande parallasse ammontante a quasi 30″, alla quale scoperta Hooke diceva di aver diritto, doveva necessariamente essere ritenuta come erronea.

Dal punto di vista della controversia Copernicana però la scoperta di Bradley era altrettanto buona quanto la scoperta della parallasse, dappoichè, se la Terra era immobile, nessuna spiegazione della minima plausibilità, poteva darsi della aberrazione.

213. L'accordo finale così ottenuto fra la teoria e l'osservazione avrebbe soddisfatto qualunque astronomo meno esatto e meno diligente di Bradley; ma nel suo scritto sull'aberrazione (1729) noi troviamo:

“ Io ho parimente incontrato piccole variazioni nella declinazione di altre stelle, in diversi anni, che non mi sembrano prodotte dalla medesima causa; ma che queste piccole variazioni derivino da “ una causa regolare o abbiano origine da qualche cambiamento nei materiali, ecc., dei miei strumenti, non sono ancora in grado di stabilire „.

Il tenue filo così sbozzato fu accuratamente seguíto e condusse ad una scoperta meravigliosa, che contiene uno dei più belli esempi di quei resultati importanti, che possono essere dedotti dallo studio dei “ fenomeni non completamente giustificati „.

L'aberrazione fa sì che una stella percorra una ciclica serie di cambiamenti in un anno; se però alla fine di un anno si trova che la stella non è ritornata alla sua primitiva posizione, è uopo cercare ancora un'altra spiegazione del moto. La precessione era una causa conosciuta per una tale alterazione; ma Bradley trovò, alla fine della serie del primo anno di osservazioni, a Wansteed, che le alterazioni nelle posizioni di varie stelle differivano per una piccola quantità (non più di 2″) da quelle che sarebbero risultate dal solito calcolo della precessione, e che, quantunque un cambiamento nel valore della precessione spiegasse i movimenti osservati di alcune di queste stelle, essa avrebbe accresciuto la differenza nel caso di altre. La nutazione o tentennamento dell'asse della Terra gli si era, come abbiamo già veduto (§ 207), presentata da sè stessa come possibile; e benchè fosse stato dimostrato di essere non atta a spiegare il fenomeno principale, dovuto all'aberrazione, poteva essere una spiegazione soddisfacente per i più piccoli moti residuali non spiegati. Presto accadde a Bradley di accertare che una tale nutazione poteva essere dovuta all'azione della Luna, siccome indicavano e la osservazione e la spiegazione di Newton sulla precessione.

“ Io sospettai che l'influenza della Luna sulle parti equatoriali della Terra potesse produrre questi effetti; poi-

chè, se la precessione degli equinozî è, secondo i principî di Sir Isacco Newton, prodotta dalle azioni del Sole e della Luna sopra quelle parti, si poteva ben concludere che la parte dell'intera precessione annuale, che deriva dalla sua azione, varierebbe in quantità col variare degli anni; laddove il piano dell'eclittica, sul quale apparisce il Sole, mantenendo sempre la medesima inclinazione sull'Equatore, quella parte di precessione dovuta all'azione del Sole sarebbe la stessa ogni anno, e da ciò seguirebbe che, quantunque la precessione annuale media, procedendo dalle azioni unite del Sole e della Luna, fosse di 50″, l'annua precessione apparente può qualche volta eccedere e qualche volta essere minore di questa piccola quantità, secondo le varie situazioni dei nodi dell'orbita della Luna „.

Newton nella sua discussione della precessione (Cap. IX, § 188, *Principia*, Lib. III, proporzione 21[a]) aveva segnalata l'esistenza di una piccola irregolarità in un periodo di sei mesi. Ma è evidente, ben discutendo sull'effetto delle attrazioni solari e lunari sulle parti protuberanti della Terra, che i varî cambiamenti nella posizione del Sole e della Luna relative alla Terra, poteva aspettarsi che avrebbero prodotto delle irregolarità, e che il moto uniforme precessionale rilevato dalle vecchie osservazioni e dedotto dalla gravitazione di Newton, era, come è difatti, la semplificazione di un moto di carattere ben più complicato. Salvo l'allusione riferita di sopra, Newton non fece alcun tentativo per discutere queste irregolarità, e nessuna di esse era ancora stata rivelata dall'osservazione.

Di tutte le irregolarità di questo genere ora conosciute, e che si possono chiamare col nome generico di *nutazioni*, quella indicata da Bradley nel luogo già citato, è, senza dubbio, la più importante. Non appena l'idea di una irregolarità dipendente dalla posizione dei nodi della Luna

gli venne in mente, vide che sarebbe stato bene osservare il movimento di diverse stelle durante l'intero periodo (circa diciannove anni), periodo impiegato dai nodi della Luna per compiere il giro dell'eclittica e ritornare nella posizione di prima. Questa ricerca fu felicemente effettuata fra il 1727 e il 1747, col telescopio montato a Wansteed. Quando i nodi della Luna ebbero compiuta la metà della loro rivoluzione, cioè dopo circa nove anni, la corrispondenza fra lo spostamento delle stelle e i cambiamenti dell'orbita della Luna, era così stretta, che Bradley rimase soddisfatto della esattezza generale della sua teoria, e, nel 1737, egli comunicò il risultato privatamente a Maupertuis (§ 221), col quale era stato in relazioni scientifiche. Pare che Maupertuis ne abbia parlato ad altri; ma Bradley aspettò pazientemente la fine del periodo, che egli riguardava come necessario per una soddisfacente verificazione della sua teoria; e pubblicò il risultato finale solamente al principio dell'anno 1748.

214. Le osservazioni di Bradley stabilirono l'esistenza di certi cambiamenti nella posizione di varie stelle, che potevano essere ammesse con la supposizione che da una parte la distanza del polo dall'eclittica fluttuasse, e che dall'altra, il moto di precessione del polo non fosse uniforme, ma variasse leggermente in velocità. *Giovanni Machin* (? — 1751), uno dei migliori matematici inglesi del tempo, dimostrò che questi effetti potevano essere prodotti, se il polo descrivesse sulla sfera celeste un piccolo cerchio in un periodo alquanto minore di diciannove anni come quello della rivoluzione dei nodi dell'orbita della Luna intorno alla posizione, che occuperebbe se non vi fosse nutazione, ma una precessione uniforme. Bradley trovò che questa ipotesi si adattava alle sue osservazioni, ma che era meglio sostituire al circolo un'ellisse leggermente schiacciata, il cui asse maggiore e il minore egli avrebbe cal-

colato di 18″ e 16″ rispettivamente (1). Questa ellisse sarebbe all'incirca larga come uno scellino posto in posizione leggermente obliqua a una distanza di 300 iarde dall'occhio. Il moto del polo risultava in tal modo doppio; e, come risultato della combinazione della precessione e della nu-

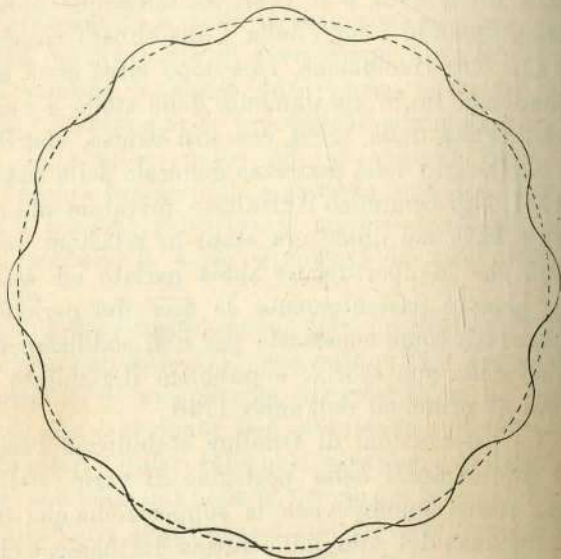



Fig. 77. — *Precessione e nutazione.*

tazione, esso descrive intorno al polo dell'eclittica " un anello leggermente ondulato ", come è rappresentato nella figura, senonchè ivi le ondulazioni dovute alla nutazione sono assai esagerate.

215. Quantunque Bradley sapesse che la nutazione doveva esser prodotta dall'azione della Luna, egli lasciò la

---

(1) Le sue osservazioni, come cosa certa, indicano un valore piuttosto maggiore di 18″, ma preferì usare cifre tonde. I valori ora accettati sono 18″ 42 e 13″ 75, così che la sua ellisse era decisamente meno schiacciata di quel che avrebbe dovuto essere stata.

investigazione teorica della sua dottrina a matematici più provetti di lui.

L'anno successivo (1749) il matematico francese D'Alembert (Cap. XI, § 232) pubblicò un trattato (1), nel quale dimostrò, per mezzo di un rigoroso processo analitico, che non soltanto la precessione, ma altresì un movimento di nutazione che si accordava strettamente con quelli osservati da Bradley, erano dovuti all'attrazione della Luna nelle parti protuberanti della Terra intorno all'equatore (cfr. Cap. IX, § 187), mentre la spiegazione di Newton della precessione era col medesimo processo confermata. Eulero (Cap. XI, § 236) pubblicò, qualche tempo dopo, altre ricerche sullo stesso soggetto; ed esso è stato studiato nuovamente da diversi astronomi matematici da quel tempo in poi, col risultato che la nutazione di Bradley è stata trovata la sola veramente importante di una lunga serie di minute irregolarità nel moto dell'asse terrestre.

216. Quantunque l'aberrazione e la nutazione siano state studiate per prime, come le più importanti scoperte di Bradley, altre speculazioni furono da lui condotte a termine in quel medesimo tempo.

Il primo importante lavoro, che egli compì, riguardava i satelliti di Giove. Suo zio aveva richiamato molta attenzione su questo soggetto, ed aveva elaborato certe tavole che riguardavano il moto del primo satellite, tavole basate su quelle di Domenico Cassini, ma esse erano state molto migliorate. Sembra che Bradley, per diversi anni, attendesse con assiduità alla osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove; e così potè svelare certe particolarità non rilevate prima nei moti, e conseguentemente formare tavole ancora più esatte. La scoperta più interessante fu quella

(1) *Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la Terre.*

di un periodo di quattrocento trentasette giorni, dopo il quale i movimenti dei tre satelliti più interni, ricorrevano con le stesse irregolarità. Bradley, come Pound, fece uso dei suggerimenti di Roemer (Cap. VIII, § 162) che la luce cioè metteva tempo a percorrere la distanza fra Giove e la Terra, teoria che il Cassini e i suoi scolari per lungo tempo rigettarono. Le tavole di Bradley sui satelliti di Giove furono comprese nelle tavole lunari e solari di Halley e stampate nel 1710, ma non pubblicate se non più di trent'anni dopo (§ 204). Prima di quell'epoca, l'astronomo svedese *Pehr Vilhelm Wargentin* (1717-1783) aveva, indipendentemente da altri, scoperto il periodo di quattrocento trentasette giorni, che egli utilizzò per la costruzione di una diligentissima serie di tavole sui satelliti, pubblicata nel 1746.

In questo caso, come in quello della nutazione, Bradley si accorse che le sue cognizioni matematiche non erano all'altezza dovuta per dargli una spiegazione sui principî gravitazionali delle ineguaglianze, che l'osservazione gli aveva rivelate, benchè egli fosse conscio della importanza di un tal cómpito; e addirittura espresse la speranza " che qualche geometra, „ (1) imitando il gran Newton, si applicherebbe alla investigazione di queste irregolarità, per mezzo dei sicuri e accertati principî della gravità. D'altra parte fece nel 1726 un'applicazione pratica delle sue profonde cognizioni sui satelliti di Giove, determinando, secondo il metodo di Galileo (Cap. VI, § 127), ma con grande esattezza, le longitudini di Lisbona e di New-York.

217. Fra i lavori meno importanti di Bradley sono degni di nota le osservazioni di parecchie comete ed i calcoli

(1) La parola *geometra* era una volta usata, come *géomètre* è ancora usato in Francia, nel senso più largo, nel quale è oggi usato « Matematico ».

delle loro rispettive orbite secondo il metodo di Newton; la costruzione di tavole di rifrazione perfezionate, che furono usate per quasi un secolo; una parte degli esperimenti sul pendolo trasportato in Inghilterra e Giamaica a scopo di verificare la variazione della gravità in latitudini differenti; un diligente esame delle *Tavole lunari* (§ 226) di Mayer e il loro miglioramento; e finalmente un lavoro che si riferiva alla riforma del calendario fatta nel 1752 (cfr. Cap. II, § 22).

218. Rimane da far qualche cenno sulla magnifica serie di osservazioni effettuate durante la direzione, che Bradley tenne dell'Osservatorio di Greenwich.

Queste osservazioni possono comprendere due divisioni capitali di meriti ineguali, poichè quelle dopo il 1749 furono fatte con istrumenti più esatti, strumenti che si era procurati mediante una elargizione del Governo.

Il lavoro principale dell'Osservatorio sotto Bradley consistè nel fare osservazioni sopra stelle fisse, e, meno estesamente, sopra altri corpi, mentre passavano al meridiano, poichè gli strumenti adoperati (il " quadrante murale, " e lo " strumento dei passaggi "), essendo mobili solo nel meridiano, erano perciò più stabili e suscettibili di dar risultati di maggiore esattezza, che quelli che si muovono in qualunque direzione.

Le osservazioni più importanti, fatte durante gli anni 1750-1762, ammontando quasi a 60,000, furono pubblicate molto tempo dopo la morte di Bradley in due grossi volumi, che videro la luce nel 1798 e nel 1805. Una scelta di esse era già stata usata come base di un Catalogo minore di stelle, pubblicato nel *Nautical Almanac* del 1773; ma fu soltanto nel 1818 che la pubblicazione di Bessel, *Fundamenta Astronomiae* (Cap. XIII, § 277), Catalogo di più di 3000 stelle, basato sulle osservazioni di Bradley, rese queste osservazioni profondamente apprezzabili per l'Astro-

nomia (1). Una ragione per questo indugio, apparentemente eccessivo, deve esser cercata nel modo di lavorare di Bradley. È già stato accennato alle tante e diverse cause che impediscono di ottenere un'esatta posizione di una stella dall'osservazione fatta col cannocchiale. Vi sono varî errori strumentali, ed errori dovuti alla rifrazione; di più, se vuolsi paragonare la posizione di una stella in due momenti differenti, bisogna tener conto della precessione; e lo stesso Bradley intravide due sorgenti di errori nell'aberrazione e nella nutazione. Allo scopo perciò di porre, sotto forma soddisfacente da potersi sempre consultare le molte osservazioni stellari, è necessario fare correzioni, che hanno per effetto di diminuire queste diverse sorgenti di errore. Questo processo di *riduzione*, come è chiamato tecnicamente, implica una certa quantità di calcoli piuttosto laboriosi e, quantunque nei moderni Osservatorî il processo sia stato tanto ordinato, che può esser condotto quasi secondo regole fisse da assistenti, per così dire, anche inesperti nella teoria; tuttavia, al tempo di Bradley, richiedeva una maggior perizia, e non si può dire con sicurezza se i suoi assistenti potessero compiere il lavoro con competenza, anche se il loro tempo non fosse stato occupato da altri doveri. Bradley stesso probabilmente trovava il calcolo abbastanza pesante, perchè preferì dedicare il suo tempo in opere di maggior rilievo. È vero che Delambre, famoso storico francese dell'Astronomia, assicurava i suoi lettori che non aveva mai trovato una riduzione tediosa, se si faceva lo stesso giorno; ma uno sguardo ad uno qualunque dei suoi libri mostra bastantemente la sua straordinaria passione per calcoli lunghi, di carattere puramente elementare; e sicuramente Bradley non è il solo astronomo,

(1) Una discussione assai approfondita delle posizioni delle stelle osservate da Bradley devesi (dopo le ricerche di Bessel) all'astronomo vivente A. Anwers. (*N. d. Tr.*)

i cui gusti abbiano, a tal riguardo, differito da quelli di Delambre. Oltre a ciò, nel ridurre una osservazione generalmente si reputa di compiere un dovere che, a guisa delle lettere da rispondere, diviene sempre più difficile ad eseguirsi quanto più lo si trascura; e non solo è meno interessante, ma molto più difficile per un astronomo lavorare con successo sulle osservazioni degli altri che sulle proprie. Non è da meravigliarsi quindi se, dopo la morte di Bradley, passò molto tempo prima che sorgesse un astronomo, che, con l'abilità e con la pazienza richieste, compisse la riduzione delle 60,000 osservazioni.

Varie circostanze si combinarono per rendere le osservazioni di Bradley decisamente superiori a quelle dei suoi predecessori. Egli possedeva, in supremo grado, le qualità individuali di occhio e di giudizio che fanno l'osservatore di primo grado; i suoi strumenti erano montati nel miglior modo allora conosciuto per assicurare l'esattezza, ed erano stati costruiti dai più abili meccanici; egli si fece un dovere di studiare gli errori dei suoi strumenti e correggerli; le sue scoperte dell'aberrazione e della nutazione lo misero in grado di evitare sorgenti di errori, errori che ammontavano a parecchi secondi, che i suoi predecessori avrebbero solo potuto evitare facendo la media di un certo numero di osservazioni; e le sue tavole perfezionate sulla rifrazione aggiunsero maggiore esattezza ai suoi risultati.

Bessel calcolò che gli errori nelle osservazioni di Bradley sulla declinazione delle stelle, furono, di solito, minori di 4″, mentre che gli errori corrispondenti nell'ascensione retta, quantità che dipende in fine da una osservazione di tempo, erano minori di 15″, o un secondo di tempo. Le sue osservazioni dunque avevano progredito in precisione paragonate a quelle di Flamsteed (§ 198), che rappresentavano quanto fino allora era stato fatto di meglio.

219. L'astronomo reale, che successe a Bradley, fu *Nathaniël Bliss* (1700-1764), che morì due anni dopo. A lui

successe, a sua volta, *Nevil Maskelyne* (1732-1811), che continuò per quasi mezzo secolo la tradizionale precisione delle osservazioni che Bradley aveva stabilita a Greenwich, e fece qualche miglioramento nei metodi.

A lui è pure dovuto il primo serio tentativo per misurare la densità e quindi la massa della Terra. Comparando l'attrazione esercitata dalla Terra con quella del Sole e di altri corpi, Newton, come vedemmo (Cap. IX, § 185), potè collegare le masse di alcuni dei pianeti con quella della Terra. Il collegare poi la massa totale della Terra a quella d'uno speciale corpo terrestre e l'esprimerla in libbre o tonnellate, era un problema di tutt'altra specie. È certamente possibile di esaminare porzioni della superficie terrestre, e paragonare la loro densità con quella, per es., dell'acqua, poi di fare ipotesi fondate sopra osservazioni all'ingrosso sulle miniere, ecc., per la misura della densità, che cresce mano mano che procediamo dalla superficie al centro della Terra, e quindi avere la media densità della Terra. Così la massa della intera Terra è paragonata a quella di un globo d'acqua dello stesso volume, e il volume essendo conosciuto, esprimerlo in libbre o in tonnellate.

Con un processo di questa specie Newton aveva infatti, con una straordinaria penetrazione, calcolato che la densità della Terra era cinque o sei volte maggiore di quella dell'acqua (1).

Era però desiderabile risolvere il problema in un modo meno ipotetico, per mezzo del confronto diretto della attrazione gravitazionale esercitata dalla Terra con quella esercitata da una massa conosciuta — metodo che avrebbe fatto, nello stesso tempo, bella testimonianza della teoria di Newton sulle proprietà gravifiche di porzioni della Terra, pro-

(1) *Principia*, lib. III, prop. 10ª.

prietà gravifiche distinte da quelle dell'intera Terra. Nella loro spedizione al Perù (§ 221) Bouguer e La Condamine avevano notato certe piccole deviazioni del filo a piombo, che indicavano una attrazione del Chimborazo, vicino al quale lavoravano; ma le osservazioni erano troppo incerte per potersi fidare di esse. Maskelyne scelse pel suo scopo Schehallien in Perthshire, stretta sommità che corre da est ad ovest. Fu osservata la direzione del filo a piombo (1774) da una parte e dall'altra del monte, e si trovò che l'attrazione della montagna cagionava un cambiamento di direzione di quasi 12″. Siccome la direzione del filo a piombo dipende dall'attrazione della Terra come un tutto e da quella della montagna, questa deviazione portò subito ad un paragone delle due attrazioni. Di più, un intricato calcolo effettuato da *Charles Hutton* (1737-1823) condusse a un paragone della media delle due densità, del monte e della Terra, e quindi alla conclusione finale (pubblicata nel 1778) che la densità della Terra era all'incirca 4 volte e mezzo quella dell'acqua. Siccome il valore di Hutton della densità del monte era, per dir la verità, quasi congetturale, questo risultato era naturalmente incerto.

Pochi anni dopo, *Giovanni Michell* (1724-1793) suggerì, ed il famoso chimico elettricista *Henry Cavendish* (1731-1810) condusse a fine (1798) una esperienza, nella quale la montagna era sostituita da una coppia di palle pesanti, e la loro attrazione sopra un altro corpo fu paragonata a quella della Terra, e per risultato si trovò che la densità della Terra era 5 volte e mezza maggiore di quella dell'acqua.

L'esperienza di Cavendish, come è spesso chiamata, è stata ripetuta da varî altri sperimentatori in forme modificate, e sono stati immaginati uno o due altri metodi troppo tecnici per essere qui descritti. Tutti i migliori esperimenti moderni dànno per la densità valori che si avvicinano a 5 $^1/_2$, verificando in tal modo e le conget-

ture di Newton e gli esperimenti originali di Cavendish. Con questa misura della densità, la massa della Terra è poco più di 13 bilioni di bilioni di libbre, e con più precisione 13,136,000,000,000,000,000,000,000 di libbre (1).

220. Mentre Greenwich forniva il mondo astronomico di una serie di osservazioni astronomiche apprezzabilissime, l'Osservatorio di Parigi non aveva mantenute le promesse fatte. Esso infatti soffriva, come la Matematica inglese, i cattivi effetti di una indebita deferenza ai metodi e alle opinioni di un uomo di grandi meriti, Domenico Cassini, che pur troppo aveva parecchie opinioni errate in importanti soggetti di Astronomia; era troppo buon cattolico per essere un vero Copernicano, non credeva quindi nella gravitazione, era fermamente persuaso che la Terra fosse schiacciata all'equatore invece che ai poli, e rigettava la scoperta di Roemer sulla velocità della luce. Dopo la sua morte nel 1712 la direzione dell'Osservatorio toccò per turno a tre dei suoi discendenti, l'ultimo dei quali diede le sue dimissioni dall'ufficio nel 1793; e diversi componenti della famiglia Maraldi, nella quale per matrimonio era entrata sua sorella, concorsero all'opera coi loro cugini. Sfortunatamente molta della loro energia fu spesa prima nel difendere gli errori del loro grande antenato, poi nell'abbandonarli a poco a poco. *Giacomo Cassini*, per es., il secondo della famiglia (1677-1756), quantunque Copernicano, fu un debole propugnatore, e rigettò le leggi di Keplero sulle aree; suo figlio, comunemente conosciuto sotto il nome di *Cassini di Thury*, difendeva sempre gli errori dei suoi an-

---

(1) Questo numero così grande deriva dalla conoscenza del volume della Terra moltiplicato per $S\frac{1}{2}$ il volume essendo espresso in decimetri cubi, d'onde la massa risulta in chilogrammi; un chilogramma poi vale 2,204621 libbre Avoirdupois inglesi. Il volume della Terra in milioni di chilometri cubi è 1083260. L'autore chiama un bilione un milione di milioni. (*N. d. Tr.*)

tenati, circa la forma della Terra, mentre che il quarto membro della famiglia, il *Conte Cassini* (1748-1845), fu il primo della famiglia che accettasse le idee Newtoniane sulla gravitazione. Molte osservazioni di valore sui pianeti ed altre furono fatte dalla scuola dei Cassini-Maraldi, ma pochi lavori abbiamo di detta scuola, che sieno di una certa importanza.

221. Una serie di misure importanti della Terra, nella quale i Cassini ebbero una parte considerevole, furono fatte nel XVIII secolo quasi interamente da Francesi; e si ebbero risultati abbastanza esatti sulle dimensioni e sulla forma della Terra.

La variazione della lunghezza del pendolo a secondi, osservata da Richer nella sua spedizione a Cajenna (Capitolo VIII, § 161), era stato il primo indizio della deviazione della Terra dalla forma sferica. Newton asserì, tanto dagli esperimenti del pendolo, quanto da una investigazione teorica tutta indipendente (Cap. IX, § 187), che la Terra era sferoidale, schiacciata ai poli; e questa asserzione fu avvalorata dalla spiegazione soddisfacente della precessione, alla quale essa conduceva (Cap. IX, § 188). D'altra parte, il paragone di diverse misure degli archi del meridiano in latitudini differenti diede qualche valore all'opinione che la Terra fosse rigonfia ai poli e schiacciata all'equatore, opinione che ebbe forti campioni nella scuola dei Cassini. Era dunque della massima importanza che questa questione fosse definita da misure terrestri più ampie e più diligenti.

La parte essenziale di una misura ordinaria della Terra consiste nell'assicurarsi la distanza in miglia di due luoghi sullo stesso meridiano, la latitudine dei quali si sa di quanto differisce. Da questi due dati ne segue subito la lunghezza di un arco di meridiano corrispondente alla differenza di latitudine di 1°. La *latitudine* di un luogo è l'angolo che la verticale del luogo fa con l'equatore, e, per esprimersi

in un modo un po' diverso, è la distanza angolare dello zenith dall'equatore celeste. La *verticale* in qualunque luogo può esser definita come la direzione perpendicolare alle acque stagnanti del luogo in questione, e può essere riguardata come la perpendicolare della vera superficie terrestre, senza tener conto delle sue accidentalità come le colline, le vallate, ecc. (1). La differenza della latitudine nord-sud

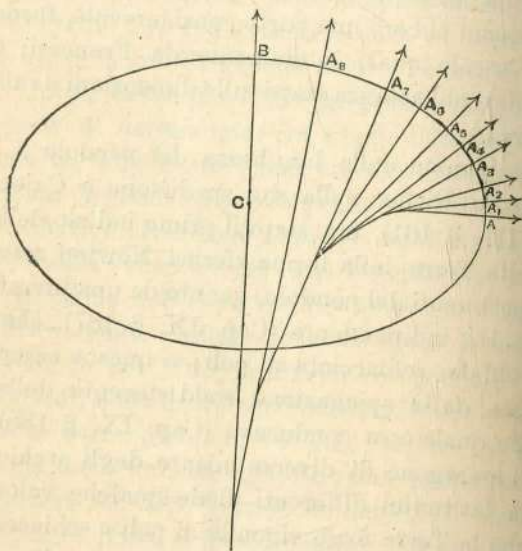



Fig. 78. — *La curva variante della Terra.*

di due luoghi uno rispetto all'altro è per conseguenza l'angolo fra le loro verticali. La fig. 78 fa vedere le verticali, marcate dalle freccie, in luoghi sotto lo stesso meridiano, in latitudini che differiscono fra loro di 10°, così che due verticali consecutive sono inclinate sempre di un angolo

(1) È cosa importante, per lo scopo di questa discussione, notare che la verticale non è la retta condotta dal centro della Terra al luogo di osservazione.

di 10°. Se, come nella fig. 78, la forma della Terra è disegnata secondo le vedute di Newton, essa mostra subito che gli archi AA_1, AA_2, ognuno dei quali corrisponde a 10° di latitudine, crescono costantemente, mentre passiamo da un punto A sull'equatore al polo B.

Se la ipotesi opposta fosse adottata, che potrebbe essere illustrata dalla stessa figura, riguardando A come il polo e B come un punto sull'equatore, allora gli archi *decrescono* passando dall'equatore al polo. Un confronto delle misure fatto da Eratostene in Egitto (Cap. II, § 36) con altro fatto in Europa (Cap. VIII, § 159) parevano indicare che un grado del meridiano vicino all'equatore fosse più lungo di un grado a più alte latitudini; e una conclusione simile si ebbe dal paragonare porzioni differenti di un ampio arco francese, circa 9° di lunghezza, che si estendeva da Dunkerque ai Pirenei, e che fu misurato sotto la sopraintendenza dei Cassini in continuazione dell'arco di Picard, e il risultato fu pubblicato da J. Cassini nel 1720. In nessuno dei due casi, però, i dati erano tanto esatti da giustificarne la conclusione; e la prima prova decisiva si ottenne, misurando archi in luoghi, che differivano in latitudine assai più di quelli precedentemente misurati. Cooperò a questa definitiva decisione una spedizione organizzata dall'Accademia Francese e composta di tre accademici, *Pierre Bouguer* (1698-1758), *Charles Marie de la Condamine* (1701-1774) e *Louis Godin* (1704-1760), insieme a due ufficiali della marina spagnuola. La spedizione partì nel 1735, e superando molte difficoltà, il lavoro fu mandato innanzi per quasi dieci anni; il risultato più importante consistette nella misura, fatta con molta diligenza, di un arco di circa 3° di lunghezza vicino all'equatore; furono fatti ancora un buon numero di esperimenti importanti col pendolo, e molti contributi di genere diverso furono così portati alla scienza. Ma mentre la spedizione peruviana faceva ancora il suo lavoro, una spedizione si-

mile in Lapponia sotto l'accademico *Pierre Louis Moreau de Maupertuis* (1698-1759) effettuò, con molta più rapidità (1736-7), ma forse più superficialmente, la misura di un arco di circa 1° vicino al circolo artico. Da queste misure risulta, che le lunghezze di un grado di un meridiano di circa 2° di latitudine *S* (Perù), di uno di circa 47° di latitudine *N* (Francia) e di uno di circa 60° di latitudine *N* (Lapponia) erano rispettivamente 362,800 piedi, 364,900 piedi e 367,100 piedi (1). Perciò era evidentemente chiaro, dal paragone di due qualunque di questi archi, che la lunghezza di un grado di meridiano ammontava col crescere la latitudine; e la esattezza delle opinioni di Newton contro quelle del Cassini fu così definitivamente dimostrata.

La deviazione della Terra dalla forma sferica è comunemente espressa da una frazione conosciuta sotto il nome di ellitticità (2), che è la differenza fra le rette *C A*, *C B* della fig. 78, divisa per la maggiore di esse. Dal confronto dei tre archi or ora mentovati furono dedotti molti valori diversi dell'ellitticità, le differenze essendo in parte dovute a diversi metodi teorici di interpretare i resultati, e in parte ad errori negli archi.

Una misura fatta da *Giovanni Svanberg* (1771-1851), nel 1801-3, di un arco vicino a quello di Maupertuis, ha difatti mostrato che il valore da lui trovato della lunghezza di un grado era troppo grande di circa 1000 piedi. Un gran numero di altri archi sono stati misurati in luo-

---

(1) Sessantanove miglia sono 364,320 piedi, cosicchè i due gradi settentrionali erano un poco più e i peruviani un poco meno di 69 miglia.

(2) L'ellitticità, $= \frac{a-b}{a}$, dicesi anche schiacciamento o compressione. Se e indica l'eccentricità del meridiano terrestre (0.82...), si ha:

$$\frac{a-b}{a} = 1 - \sqrt{1-e^2}.$$

(*N. del Tr.*)

ghi differenti della Terra e in tempi differenti nei secoli XVIII e XIX. I particolari delle misure si possono omettere; ma, per evitare di ritornare su questo soggetto, è bene dare qui i risultati ottenuti dal confronto di queste diverse misure cioè, che lo schiacciamento è quasi $\frac{1}{292}$ ed il raggio maggiore della Terra (*C A* nella fig. 78) un poco meno di 21,000,000 di piedi, ossia 4000 miglia. Segue da questi valori che la lunghezza di un grado nella latitudine di Londra contiene, per adoperare l'artifizio mnemonico di Sir Giovanni Herschell, quasi tante volte mille piedi quanti giorni contiene l'anno.

222. È già stato detto della preferenza che si dava nel secolo XVIII a Greenwich per l'esattezza delle osservazioni. Però, la Francia diede in questo periodo un grande astronomo osservatore che molto operò; e, se avesse avuto condizioni esterne più favorevoli, avrebbe quasi rivaleggiato con Bradley.

Nicholas Louis de Lacaille nacque nel 1713. Dopo aver dedicato gran parte del suo tempo a studi teologici con l'idea di seguire la carriera ecclesiastica, ad un tratto prese interessamento per l'Astronomia e le Matematiche. Fu presentato a Giacomo Cassini, e impiegato come assistente all'Osservatorio di Parigi.

Nel 1738, e nei due anni seguenti, prese parte attiva nella misura dell'arco francese, che allora era in via di verificazione. Mentre era impegnato in questo lavoro fu designato come professore con piccolissima paga al Collegio Mazarino, presso il quale era stato eretto un Osservatorio. Qui egli era solito, nelle belle notti, stare in osservazione, mentre “ per occupare utilmente le ore d'ozio che pur troppo il cattivo tempo dà agli osservatori, ” imprese una infinità di estesi calcoli, e scrisse innumerevoli Memorie scientifiche. Non è perciò da maravigliarsi se morì relativamente giovane (1762) e se la sua morte fu attribuita ad un lavoro eccessivo.

223. La monotonia della vita esteriore di Lacaille fu interrotta dalla spedizione scientifica al Capo di Buona Speranza (1750-1754), organizzata dall'Accademia delle Scienze e posta sotto la sua direzione.

La parte più rilevante di questa spedizione fu l'osservazione sistematica del cielo australe, nel corso della quale furono osservate più di 10,000 stelle. Queste osservazioni, insieme con un esatto Catalogo di quasi 2000 delle stelle osservate (1) e una Carta stellare, furono pubblicate, in ritardo, nel 1763, sotto il titolo di *Coelum Australe Stelliferum*, e sorpassarono interamente il Catalogo di Halley, assai più piccolo e meno esatto (§ 199). Lacaille trovò necessario creare quattordici nuove costellazioni (alcune delle quali sono state dipoi generalmente abbandonate), e rimettere al debito posto le stelle che il compiacente Halley aveva composte col nome di " Quercia di re Carlo ". Incidentalmente Lacaille osservò e descrisse quarantadue nebulose (stelle nebulose) e gruppi di stelle, il cui sistematico studio costituì la maggior opera di Herschell (Cap. XIII, § 259-261).

Fece moltissimi esperimenti col pendolo a San Maurizio, come al Capo, col solito scopo di determinare, in una nuova parte del mondo, le accelerazioni dovute alla gravità, e misurò un arco di meridiano che comprendeva un po' più di un grado. Determinò pure, con osservazioni esatte, le posizioni di Venere e di Marte, allo scopo, paragonando quelle con simultanee osservazioni in latitudine nord, di poter ottenere la parallasse del Sole (Cap. VIII, § 161). Queste osservazioni di Marte paragonate con alcune fatte in Europa da Bradley e da altri, e quelle di Venere fatte col medesimo metodo, condussero ad una pa-

---

(1) Le restanti 8000 stelle non furono « classificate » da Lacaille. L'intero numero fu prima pubblicato in forma « sistematica » dall'Associazione Britannica, nel 1845.

rallasse solare di poco maggiore di 10″, risultato meno esatto di quello del Cassini, quantunque ottenuto con un processo più attendibile (Cap. VIII, § 161).

Un gran numero di osservazioni sulla Luna, delle quali quelle fatte da lui al Capo formavano una parte importante, condussero, dopo una eleborata discussione, nella quale era presa in considerazione la forma sferoidale della Terra, ad un più esatto valore della distanza della Luna, resa nota la prima volta nel 1761.

Lacaille adoperò pure le sue osservazioni delle stelle fisse per far progredire le nostre cognizioni sulla rifrazione, e fece molte osservazioni sul Sole in quella parte della sua orbita che percorre nei mesi invernali (gli estivi nell'emisfero sud), e nei quali è troppo vicino all'orizzonte per poter essere bene osservato in Europa.

I risultati di ciò — una delle spedizioni più scientificamente fruttuose che mai sieno state intraprese — furono pubblicati dopo il suo ritorno a Parigi.

224. Nel 1757, sotto il titolo di *Astronomiae Fundamenta,* apparve un Catalogo di quattrocento delle più brillanti stelle, oservate e ordinate con la più scrupolosa esattezza, così che, nonostante la povertà della suppellettile strumentale di Lacaille, il Catalogo era di gran lunga superiore a qualunque di quelli che furono prima del suo pubblicati, e fu solo sorpassato dalle osservazioni di Bradley a mano a mano che venivano pubblicate. È una caratteristica dell'indole generosa di Lacaille quella di non aver voluto vendere i *Fundamenta* nel solito modo, ma di aver distribuito le copie gratuitamente a coloro che si interessavano del soggetto, mentre poi si procurava il denaro necessario alle pubblicazioni col calcolare almanacchi astronomici.

Una postuma pubblicazione fu quella di un altro Catalogo di cinquecento stelle poste nello zodiaco.

L'anno seguente (1758) pubblicò una eccellente serie di tavole solari, basata sopra una immensa serie di osservazioni

e calcoli. Queste furono notevoli come le prime, nelle quali furono prese in considerazione le perturbazioni planetarie.

Fra le minori contribuzioni di Lacaille all'Astronomia, si possono menzionare i metodi perfezionati per calcolare le orbite cometarie e i calcoli delle orbite di un gran numero di comete ricordate; e i calcoli di tutte le eclissi visibili in Europa dall'anno 1; un'osservazione che il passaggio di Venere non potrebbe essere osservato con quella precisione che Halley aveva creduto (§ 202); osservazioni sul passaggio effettivo del 1761 (§ 227) ed una infinità di progressi sui metodi per calcolare e utilizzare le osservazioni.

Nel valutare la immensa quantità di lavoro che Lacaille compì nella sua carriera astronomica di quasi ventidue anni bisogna ricordarsi che nel suo Osservatorio aveva strumenti mediocri e *nessun assistente,* e che gran parte del suo tempo doveva spenderlo guadagnando di che vivere e di che lavorare.

225. Nel periodo, che stiamo considerando, anche la Germania diede un astronomo, dapprima osservatore di gran merito, *Tobia Mayer* (1723-1762). Fu designato professore di Matematiche e di Economia politica a Göttinga nel 1751, evidentemente con la intenzione che non facesse lezione su quest'ultima materia, che egli non doveva conoscere affatto. Un anno dopo fu messo in carica nell'Osservatorio eretto venti anni prima. Egli ebbe finalmente uno strumento buono (1), e, seguendo l'esempio di Tycho, di Flamsteed e di Bradley, fece un attento esame dei suoi difetti, e spinse più innanzi dei suoi predecessori la teoria di correggere le osservazioni, che risultavano da errori istrumentali (2).

(1) Un quadrante murale.

(2) La usuale teoria approssimata dell'*errore di collimazione, errore di livello,* ed *errore di azimut* di un passaggio, data in libri di testo sull'Astronomia pratica e sferica, è sua senz'altro.

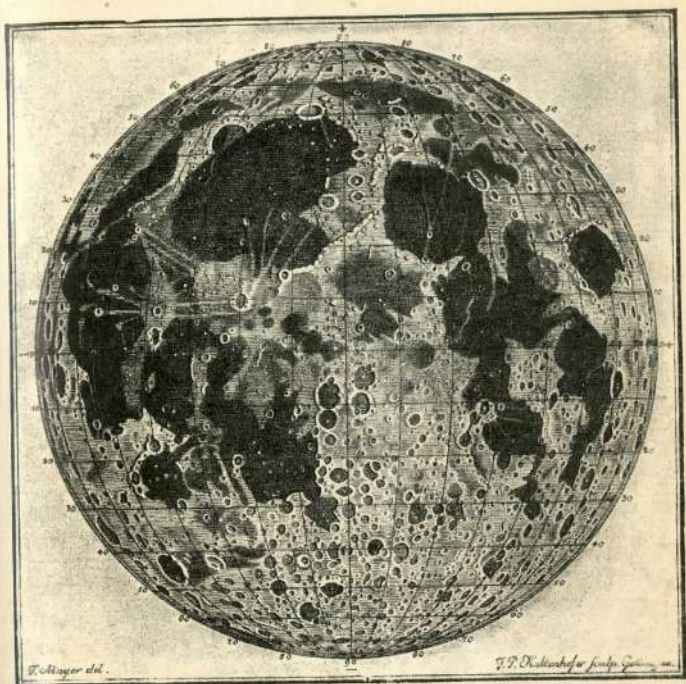
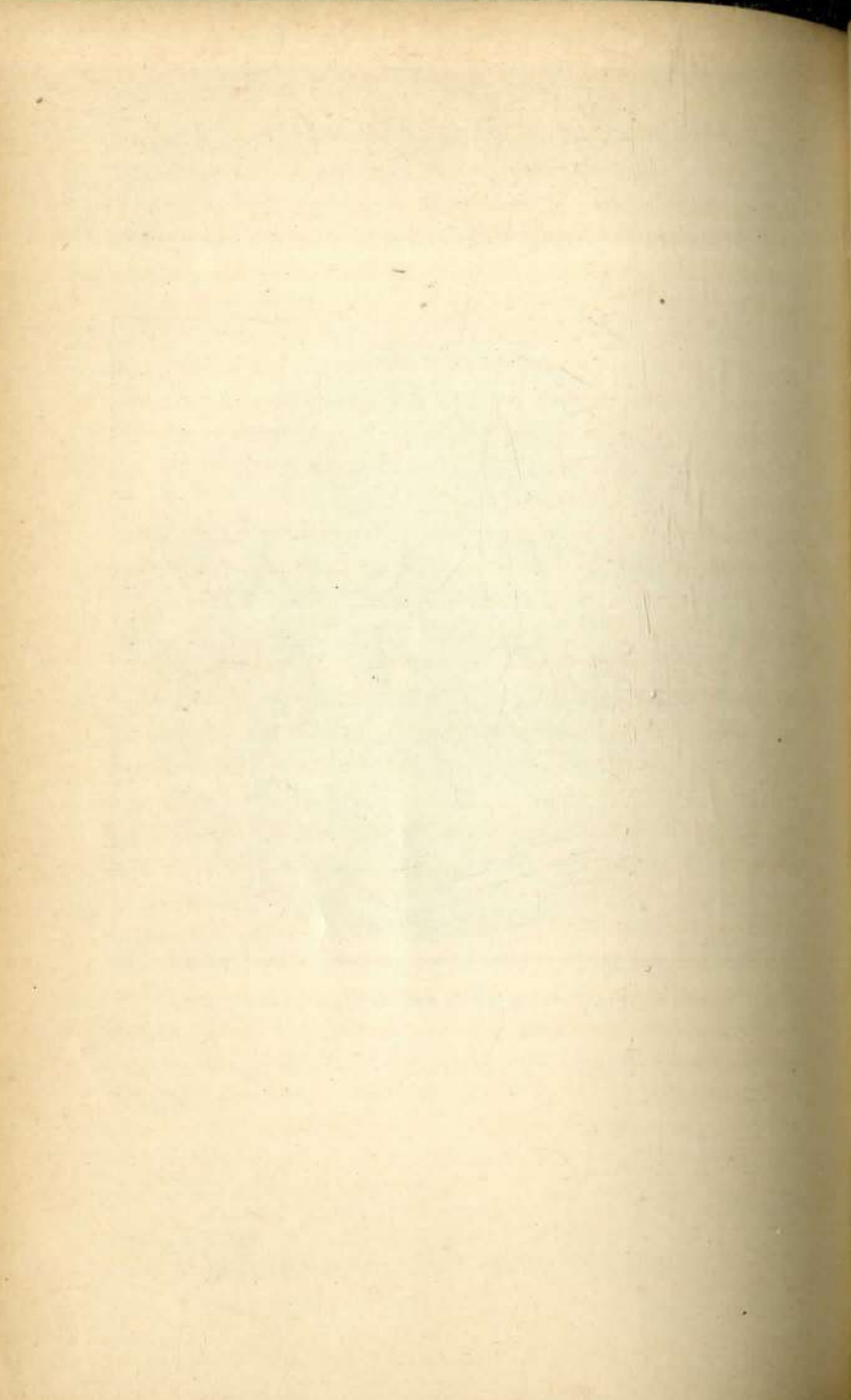



Fig. 79. — *Carta della Luna di* Tobia Mayer.

Perfezionò le tavole di Lacaille sul Sole, e fece un catalogo di novecento novantotto stelle zodiacali, pubblicazione postuma del 1775: paragonando le posizioni delle stelle ricordate da Roemer (1706), con le sue e con le osservazioni di Lacaille, ottenne la prova di un numero considerevole di moti propri (§ 203), e fece molte altre meno interessanti contribuzioni alla scienza astronomica.

226. Ma il lavoro più importante di Mayer fu sulla Luna. Al cominciar della sua carriera fece uno studio diligente della posizione dei cratèri e di altri oggetti distinti, e potè perciò porgere una completa spiegazione geometrica delle varie librazioni della Luna (Cap. VI, § 133), nonchè fissare con esattezza la posizione dell'asse intorno a cui la Luna gira. Una carta della Luna, basata sulle sue osservazioni, fu pubblicata con altri lavori postumi nell'anno 1775.

Molto più importanti però furono la sua teoria lunare e le tavole basate su di essa. L'interesse intrinseco matematico del problema sul moto della Luna, e la sua importanza pratica per la determinazione della longitudine, incitò gli astronomi del secolo XVIII a porgere grande attenzione a tal soggetto. Uno stimolo più grande ancora fu dato dal Governo inglese, che offrì dei premi a chi avesse dato il metodo per trovare la longitudine sul mare, cioè Lst. 20,000 per il metodo di trovare la longitudine a meno di mezzo grado, e un premio minore per metodi meno esatti.

Tutti i grandi matematici di quel periodo fecero tentativi per dedurre i moti della Luna dai principî della gravitazione. Mayer condusse a termine una teoria che andava d'accordo con i metodi usati da Eulero (Cap. XI, § 233); ma fece un uso più largo e più abile delle osservazioni per determinare varie quantità numeriche, che la pura teoria o non dava affatto, o assai incertamente. Onde riuscì a calcolare tavole della Luna (pubblicate con quelle del Sole nel 1753), che costituivano un vero progresso sopra

quelle di scrittori antecedenti. Dopo aver fatto nuovi miglioramenti, li mandò in Inghilterra nel 1755. Bradley, alla cui critica l'ammiragliato sottopose quei documenti, si pronunziò favorevolmente sulla loro esattezza; e pochi anni più tardi, dopo aver fatto qualche variazione alle tavole, basate sulle sue proprie osservazioni, egli raccomandò all'ammiragliato un metodo di longitudine fondato sull'uso di quelle tavole, che egli considerava atto in generale a dare la longitudine a meno di mezzo grado.

Prima che fosse concluso qualche cosa di definitivo, Mayer morì nella verde età di 39 anni, lasciando una nuova collezione di tavole, che furono altresì inviate in Inghilterra. Furono pagate alla sua vedova Lst. 3000 nel 1765, e tanto la sua *Teoria sulla Luna* (1) che le sue perfezionate Tavole lunari e solari furono pubblicate nel 1770 a spese del Comitato di longitudine. Una ultima edizione, riveduta dal primo assistente di Bradley, *Charles Mason* (1730-1787), venne pubblicata nel 1787. Fu altresì conferito un premio ad Eulero per il suo lavoro teorico; mentre che Lst. 3000, e poco dopo Lst. 10,000, e più, furono assegnate a *Giovanni Harrison* per aver migliorato il cronometro, che rendeva applicabile un metodo per trovare la longitudine e del tutto diverso da quello usato fin qui (Cap. VI, § 127).

227. Gli astronomi del secolo XVIII ebbero due occasioni per utilizzare un passaggio di Venere per determinare la distanza del Sole, raccomandate da Halley (§ 202).

Un passaggio di Venere sul disco solare è un fenomeno della stessa natura dell'eclisse di Sole prodotto dalla Luna, con la differenza importante che l'apparente grandezza del pianeta è troppo piccola per produrre una vera diminu-

---

(1) Nel frontespizio vi è la data 1767; ma si sa che sono state pubblicate tre anni dopo.

zione nella luce del Sole, e perciò apparisce come un disco nero sulla superficie brillante del Sole.

Se l'orbita di Venere giacesse nell'eclittica, allora in ogni congiunzione inferiore, che si verifica ogni 584 giorni, essa di necessità passerebbe tra il Sole e la Terra, ed il passaggio sarebbe visibile. Ma siccome l'orbita di Venere e della Terra sono inclinate l'una sull'altra, alle congiunzioni inferiori Venere è, per solito, molto lontana o " al di sopra „ o " al disotto „ dell'eclittica, perciò non accade nessun passaggio. Con la attuale posizione delle due orbite — che le perturbazioni planetarie cambiano solo gradatamente — i passaggi di Venere succedono in coppie a distanza di ott'anni, mentre che tra la fine del passaggio di una coppia e il principio dell'altro trascorrono alternativamente intervalli di 105 $^1/_2$ e 121 $^1/_2$ anni. Così dunque i passaggi sono accaduti nel dicembre del 1631 e del 1639, nel giugno 1761 e 1769, nel dicembre 1874 e 1882, e si verificheranno di nuovo nel 2004 e nel 2012, nel 2117 e nel 2125 e così via.

Il metodo di calcolare la distanza del Sole mediante il passaggio di Venere si può dire che non differisce essenzialmente da quello fondato sulle osservazioni di Marte (Cap. VIII, § 161).

Lo scopo degli Osservatori in ambo i casi è di ottenere la differenza nella direzione del pianeta, veduto da diverse parti della Terra. Venere, però, quando è alla minima distanza dalla Terra, è, per solito, troppo vicina al Sole nel cielo per potersi osservare; ma quando succede un passaggio il disco del Sole serve da punto di riferimento, sul quale la posizione del pianeta può essere osservata. Oltre di che, la misura dei piccoli angoli, arte non ancora condotta a perfezione nel XVIII secolo, può essere evitata dall'osservazione dei tempi, e però la differenza dei tempi, in cui Venere entra nel disco solare (o lo abbandona) stimata in luoghi differenti, o la differenza

nelle durate del passaggio, può essere facilmente tradotta nella differenza di direzione, e possono così essere dedotte le distanze di Venere e del Sole (1).

Governi, Accademie e privati si adoperarono di molto per le osservazioni dei passaggi del 1761 e 1769. Per il primo passaggio furono spedite compagnie di osservazione a Tobolsk, a Sant'Elena, al Capo di Buona Speranza, in India; e, nello stesso tempo, astronomi osservatori a Greenwich, a Parigi, a Vienna, a Upsala, e altrove in Europa. Il secondo passaggio fu esaminato anche più largamente, perchè le stazioni scelte andarono dalla Siberia alla California, dal fiordo di Varanger ad Otaheiti (dove prese posto niente meno che il capitano Cook), e dalla baia di Hudson a Madras.

Le spedizioni organizzate in questa occasione dalla Società Filosofica Americana possono riguardarsi come le prime delle contribuzioni date dall'America alla scienza, che da quel momento le ha dovuto e di molto; mentre l'imperatrice Caterina rese testimonianza della civiltà conseguita dal suo paese ponendo varie stazioni di osservazione sul suolo russo.

I risultati si accordarono molto più con le previsioni di Lacaille che con quelle di Halley. Moltissime cause impedirono di osservare, con la dovuta e sperata precisione, i momenti di contatto fra il disco di Venere e quello del Sole. Scegliendo diverse serie di osservazioni, e facendo le correzioni necessarie per le probabili sorgenti di errore, una infinità di risultati discordanti si ottennero da diversi calcolatori. I valori della parallasse (Cap. VIII, § 161) del Sole, dedotti dal primo dei due passaggi, furono calcolati fra gli 8″ e i 10″; mentre che quelli ottenuti nel 1769,

---

(1) Per una discussione più particolareggiata del passaggio di Venere, vedi l'*Astronomia popolare* di Airy e quella di Newcomb.

quantunque assai più concordi, variavano fra gli 8″ e i 9″ corrispondenti ad una variazione di circa 10,000,000 di miglia nella distanza del Sole. Tutto l'insieme delle osservazioni fu dipoi discusso molto accuratamente nel 1822-24 e di nuovo nel 1835 da *Giovanni Francesco Encke* (1791-1865), che dedusse una parallasse di 8″,571, corrispondente alla distanza di 95,370,000 miglia, valore rimasto lungo tempo classico. L'incertezza di questo dato fu, nondimeno, riconosciuta dal fatto che altri astronomi, egualmente competenti, hanno dedotta dalle osservazioni del 1769, parallassi di 8″,8 e 8″,9.

Nessuna storia per ora abbiamo di *Guglielmo Herschel*, forse il più celebre degli osservatori, la cui carriera si svolge principalmente nell'ultimo quarto del secolo XVIII. Siccome però la sua opera fu essenzialmente diversa da quella di quasi tutti gli astronomi del XVIII secolo, e diede un forte impulso ad una parte dell'Astronomia, quasi finora ignorata, è bene rimandare a un capitolo successivo (XII) la discussione dell'opera sua.

CAPITOLO XI.

Astronomia gravitazionale del secolo XVIII.

> L'Astronomia, considerata nel modo più generale, è un gran problema di Meccanica, i cui dati arbitrari sono gli elementi dei movimenti celesti; la sua soluzione dipende tanto dall'esattezza delle osservazioni, quanto dalla perfezione dell'analisi.
>
> LAPLACE
> (Prefazione alla *Mécanique Céleste.*)

228. Il sistema solare, come si conosceva al principio del secolo XVIII, conteneva diciotto corpi accertati: il Sole, sei pianeti, dieci satelliti (uno appartenente alla Terra, quattro a Giove, e cinque a Saturno) e l'anello di Saturno. Si sapeva che le comete erano passate in diverse occasioni nella regione di spazio occupato dal sistema solare, e vi erano ragioni per credere che almeno una di esse (Cap. X, § 200) era una visitatrice regolare; perciò non erano riguardate come assolutamente appartenenti al sistema solare, e la loro azione (se azione vi era) sopra i componenti il sistema solare fu trascurata; locchè le susseguenti investigazioni hanno completamente giustificato. Migliaia e migliaia di stelle fisse sono state pure esaminate, e sono state determinate le loro posizioni nella sfera celeste; sapevasi che erano a grandissima distanza, sebbene sconosciuta dal sistema solare, e la loro influenza su di esso era ritenuta insensibile.

I moti dei diciotto corpi del sistema solare erano abbastanza bene conosciuti, le loro vere distanze reciproche

erano state calcolate assai grossolanamente, mentre i *rapporti* fra la maggior parte delle distanze erano conosciuti con sufficiente precisione. Ad eccezione dell'anello di Saturno, totalmente anormale, che per il momento non terremo in considerazione, i più dei corpi del sistema solare si sapeva che erano di forma quasi sferica, e i restanti si credeva fossero della stessa forma.

Newton aveva dimostrato, con assai probabilità, che questi corpi si attraevano secondo la legge di gravitazione, e non vi era ragione a supporre che esercitassero altra influenza importante sui movimenti l'uno dell'altro (1). Il problema dunque che si presentava, e che può, a tutto rigore, chiamarsi il problema di Newton, si può così enunciare: *dati questi diciotto corpi, le loro posizioni e i loro moti in qualunque tempo, dedurre dalla loro vicendevole gravitazione, mediante un processo di calcoli matematici, le loro posizioni e i loro movimenti in un altro dato tempo, e dimostrare che questi si accordano con quelli realmente osservati.*

Un tal calcolo comprenderebbe necessariamente, fra le altre quantità, le masse dei diversi corpi; era legittimata così la volontà di supporre queste in modo da mettere d'accordo i risultati dei calcoli con le osservazioni: se ciò fosse stato eseguito con buona riuscita, le masse sarebbero state determinate. Nello stesso modo, i valori comunemente accettati delle dimensioni del sistema solare, e la forma dei corpi che lo compongono, potrebbero essere modificati dai risultati in alcun modo non consentanei alle osservazioni dirette.

Il problema generale così formulato può fortunatamente ridursi ad altri più semplici.

---

(1) *Altre* influenze sono conosciute: per es., il calore del Sole cagiona varî movimenti sulla nostra aria e sull'acqua ed ha un qualche minimo effetto sulla velocità di rotazione della Terra, e presumibilmente produce simili effetti sugli altri corpi.

Newton aveva dimostrato (Cap. IX, § 182) che una sfera qualunque attraeva altri corpi ed era da essi attratta come se la sua massa fosse tutta condensata nel centro; e che gli effetti di deviazione dalla forma sferica divenivano lievissimi a una certa distanza dal corpo. Dunque, eccetto in casi speciali, i corpi del sistema solare potrebbero essere considerati come tante sfere, che potrebbero, alla lor volta, essere riguardate come condensate nei loro rispettivi centri. Sarà conveniente, per amor di brevità, di supporre in avvenire che "tutti i corpi," ai quali ci riferiremo, siano di questa specie, a meno che il caso contrario sia determinato od implicito. Gli effetti della deviazione da una sfera, saranno perciò trattati separatamente quando sarà necessario, come nei casi di precessione e di altri movimenti dei pianeti o satelliti intorno al loro centro, e delle azioni corrispondenti di un pianeta non sferico sopra i suoi satelliti. A questo gruppo di problemi appartengono anche le maree, ed altri casi di movimenti di parti di un corpo di qualunque forma, relativamente al resto del corpo.

Inoltre accade che il sistema solare è così costituito, che il movimento di ogni singolo corpo è determinato in prima approssimazione dall'effetto di un solo altro corpo. Un pianeta, p. es., si muove quasi come se non esistesse altro corpo che il Sole, e il movimento della Luna, relativamente alla Terra, è pressochè lo stesso, come se gli altri corpi del sistema solare non esistessero.

Il problema del moto di due sfere che si attraggono fra loro fu completamente risoluto da Newton, e fu trovato che conduceva alle prime due leggi di Keplero. Dunque ogni corpo del sistema solare potrebbe essere riguardato come moventesi quasi in una ellisse, intorno ad un altro corpo, ma come se fosse leggermente disturbato dall'azione degli altri. Oltre a ciò, per un principio matematico generale applicabile nei problemi del moto, l'effetto di una certa quantità di piccole cause disturbatrici, agenti all'u-

nisono, è quasi lo stesso di quello, che resulterebbe sommando insieme i loro effetti separati. Dunque ogni corpo potrebbe, senza grande errore, considerarsi come disturbato da un corpo alla volta; sommando tutti gli effetti disturbatori, si potrebbe fare un nuovo calcolo per diminuire sempre più l'errore. Come si vede, in sostanza, il problema di Newton è un caso speciale del così detto problema *dei tre corpi,* cioè:

Dato in un tempo qualunque le posizioni e i moti di tre corpi di reciproca gravitazione, determinare le loro posizioni e i loro moti in un altro tempo qualunque.

Pure questo problema, apparentemente semplice nella sua forma generale, supera interamente i potenti mezzi non solamente dei metodi matematici del principio del secolo XVIII, ma anche di quelli trovati fin qui. Sono stati risoluti certi casi speciali, ed è stato dimostrato che è possibile supporre tre corpi, che si muovano da principio in tal modo, che il loro movimento futuro possa essere perfettamente determinato. Ma di questi casi non si dànno in natura esempi.

Nel caso del sistema solare il problema è semplificato, non solo dalla considerazione già menzionata, che uno dei tre corpi può esser considerato come avente pochissima influenza sul moto relativo degli altri due; ma ancora dal fatto che le orbite dei pianeti e dei satelliti non differiscono molto dal circolo, e che i piani delle loro orbite non sono mai inclinati di un grande angolo rapporto a qualsiasi piano orbitale e quindi anche all'eclittica, ed, in altre parole, che le eccentricità e le inclinazioni sono quantità piccole.

Così semplificato, il problema può ammettere soluzioni di grande esattezza coi metodi di approssimazione (1).

---

(1) I procedimenti aritmetici per accostarsi, cifra per cifra, al valore d'un decimale illimitato, oppure la radice quadrata di un quadrato non perfetto sono semplici casi di approssimazioni successive.

Nel caso del sistema formato dal Sole, dalla Terra e dalla Luna, il tratto caratteristico è la gran distanza del Sole, che è il corpo perturbatore, dagli altri due corpi; nel caso del Sole e di due pianeti, la massa enorme del Sole, paragonata col pianeta perturbatore, è il fattore importante. Quindi i metodi di trattamento, applicati ai due casi, differiscono, ed hanno dato origine a due rami di questo soggetto interamente distinti: la *Teoria lunare* e la *Teoria planetaria*. I problemi presentati dai moti dei satelliti di Giove e di Saturno, quantunque affini a quelli della teoria lunare, differiscono sotto qualche aspetto importante, e sono ordinariamente trattati separatamente.

229. Come abbiamo veduto, Newton fece molti passi importanti verso la soluzione del problema, ma poco fu fatto dai suoi successori in Inghilterra. Sul Continente pure il progresso fu dapprincipio molto lento. I *Principia* furono letti ed ammirati dalla maggior parte dei matematici del tempo; ma i suoi principî non furono accettati, e la filosofia Cartesiana aveva sempre il sopravvento. Un passo più innanzi è segnato dalla pubblicazione di una Memoria scritta dal *Chevalier de Louville* (1671-1732), e stampata dall'Accademia delle scienze di Parigi nel 1720, sulle basi dei principî di Newton. Dieci anni dopo, l'Accademia aggiudicava un premio ad un trattato sui movimenti planetari, scritto da *Giovanni Bernouilli* (1667-1748) sui principî Cartesiani, e fu messo in secondo posto un saggio Newtoniano. Nel 1732 Maupertuis (Cap. X, § 221) pubblicò un trattato sulla figura della Terra secondo le vedute di Newton, e, sei anni dopo, il libro di Voltaire, alla portata di tutti, intitolato “ *Éléments de la philosophie de Newton*, ” fu di grande utilità per rendere popolari le nuove idee. L'ultimo riconoscimento ufficiale del Cartesianismo in Francia sembra siasi verificato nel 1740, quando il premio offerto dall'Accademia per un trattato sulle maree fu diviso fra un Cartesiano e tre eminenti Newtoniani (§ 230).

Il rapido sviluppo dell'Astronomia gravitazionale, che si verificò fra questo tempo e il principio del secolo XIX, fu quasi interamente opera di cinque grandi matematici continentali: Eulero, Clairaut, d'Alembert, Lagrange e Laplace, dei quali il primo nacque nel 1707, e l'ultimo morì nel 1827, nel mese del centenario della morte di Newton. Eulero era svizzero, Lagrange fu italiano di nascita, ma francese d'origine, e in verità per adozione (1), gli altri intieramente francesi. La Francia perciò, per quasi tutto il secolo XVIII, regnò sovrana nell'Astronomia gravitazionale, e non ha neppure oggi perduta la sua supremazia, quantunque, durante il secolo XIX, l'America, l'Inghilterra, la Germania, l'Italia ed altri paesi abbiano portato tutti un efficace contributo a questo soggetto.

Sarà bene considerare prima l'opera dei tre astronomi menzionati per primi, e parlare dopo di Lagrange e di Laplace, che condussero l'Astronomia gravitazionale certamente ad uno stadio di sviluppo molto più avanzato dei loro predecessori.

230. *Leonardo Eulero* nacque a Basilea nel 1707, quattordici anni dopo Bradley e sei anni prima di Lacaille. Era figlio di un ministro protestante, e studiò matematica sotto *Giacomo Bernouilli* (1654-1705), il primo di una famosa famiglia di matematici. Leonardo Eulero stesso fu allievo favorito di Giovanni Bernouilli (il fratello minore di Giacomo) ed era intimo dei suoi due figli, uno dei quali, Daniele (1700-1782), fu non soltanto un pregiato matematico, come suo padre e suo zio, ma fu anche il più importante propugnatore delle idee di Newton fuori della Gran Brettagna. Come tanti altri astronomi, Eulero cominciò studiando teologia, ma fu indotto, sia dalla sua naturale attitu-

---

(1) Lagrange è stato e sarà sempre ritenuto italiano.
(*N. d. Tr.*).

dine, sia dall'influenza esercitata su di lui da Bernouilli, a dedicarsi alle Matematiche. Per mezzo di Daniele Bernouilli, che era stato da poco nominato professore a Pietroburgo, Eulero ricevè ed accettò l'invito di recarsi colà per far parte dell'Accademia delle scienze novellamente creata (1727). La prima nomina portò seco uno stipendio, e i suoi doveri erano di promuovere lo studio delle scienze; dopo di che Eulero imprese un lavoro d'indole professionale più definito; ma gran parte della sua energia, durante l'intiera sua carriera, fu dedicato a scrivere Memorie di Matematica, pubblicate in gran parte dall'Accademia di Pietroburgo. Quantunque non si occupasse di politica, l'autocrazia russa parve essergli avversa, allevato come era stato fra gli Svizzeri e i Protestanti circonvicini; e nel 1761 accettò l'invito da Federigo il Grande, despota di natura un po' meno pronunziata, di recarsi a Berlino, per aiutarlo nella riorganizzazione di quell'Accademia scientifica. Essendo stato un giorno rimproverato dalla Regina per la sua taciturnità e malinconia, rispose che veniva precisamente da un paese dove il parlare poteva condurre direttamente alla forca (1); malgrado però questa leale protesta, rimase sempre in buoni termini con la Corte russa, e continuò a ritirare il suo assegno come membro dell'Accademia di Pietroburgo, e a contribuire alle sue Transazioni. Oltre di che, dopo venticinque anni passati a Berlino, accettò un caldo invito della imperatrice Caterina II e ritornò in Russia (1766).

Nel 1735 rimase cieco da un occhio; la qual disgrazia gli fece dire che da qui in avanti avrebbe avuto meno occasione di distrarsi dalle sue Matematiche; perdette l'altro occhio non appena ritornato in Russia; e, ad eccezione di

(1) « C'est que je viens d'un pays où, quand on parle, on est pendu. »

un breve spazio di tempo, nel quale una operazione gli rese la vista, rimase cieco per tutta la vita. Ma questa impotenza non cambiò gran fatto la sua maravigliosa attività scientifica: e fu dopo quasi diciassette anni di cecità che, per un colpo d'apoplessia, " egli cessò di vivere e di calcolare „ (1783).

Eulero fu probabilmente il più versatile e il più fecondo dei matematici di tutti i tempi. Non vi è quasi ramo di analisi moderna, al quale egli non sia stato un largo contributore, e la sua straordinaria potenza di inventar metodi di calcolo e di applicarli, fu da lui usata con molto buon esito in ogni ramo esistente delle Matematiche applicate; problemi di Dinamica astratta, di Ottica, di moti dei fluidi e di Astronomia erano successivamente sottoposti alla sua analisi e risoluti. La quantità dei suoi scritti è manifestata dal fatto che, oltre a parecchi libri, scrisse circa ottocento opuscoli sopra argomenti di Matematica e di Fisica; si è calcolato che una compiuta edizione delle sue opere farebbe venticinque volumi in quarto di circa 600 pagine ciascuno.

Il primo contributo all'Astronomia di Eulero fu un saggio sulle maree, che ottenne una parte del premio dell'Accademia nel 1740, di cui abbiamo già parlato, poichè Daniele Bernouilli e Maclaurin (Cap. X, § 196) erano gli altri due Newtoniani. Il problema delle maree non fu però in alcun modo risoluto da nessuno dei tre scrittori. Diede inoltre due distinte soluzioni del problema dei tre corpi, in forma adattabile alla teoria lunare, e diede una infinità di contribuzioni, estremamente importanti e suggestive, quantunque incomplete, alla teoria planetaria. In ambedue gli argomenti, il suo lavoro era così strettamente connesso con quello di Clairaut e di D'Alembert, che sarà meglio discuterlo insieme a questi.

231. *Alessio Claudio Clairaut* nacque a Parigi nel 1713 e appartiene alla classe dei geni precoci. Alla età di dieci

anni lesse il calcolo infinitesimale e le sezioni coniche, presentò una Memoria scientifica all'Accademia delle scienze prima dei tredici anni, e pubblicò un libro che conteneva importanti contribuzioni alla Geometria all'età di diciotto anni; perciò fu ammesso all'Accademia.

Poco dopo partecipò alla Spedizione in Lapponia, fatta da Maupertuis (Cap. X, § 221) e, dopo aver pubblicato scritti di minor entità, presentò nel 1743 il suo classico lavoro sulla figura della Terra. In questo lavoro, studiò in un modo assai più complesso, che non avessero fatto Newton e Maclaurin, la forma che un corpo ruotante, come la Terra, assume sotto l'influenza della reciproca gravitazione delle sue parti, essendo già state fatte delle ipotesi di natura generale sulla densità del suo interno; e dedusse delle formule sul cambiamento di accelerazione in diverse latitudini, dovuto alla gravità, le quali sono d'accordo in maniera soddisfacente con i resultati ottenuti con gli esperimenti col pendolo. Quantunque l'argomento sia stato, dipoi con più precisione e con più generalità, trattato da scrittori venuti dopo, e sieno state fatte un buon numero di aggiunte, ben pochi risultati di capitale importanza sono stati aggiunti a quelli contenuti nel libro di Clairaut.

Quindi egli rivolse la sua attenzione al problema dei tre corpi, ottenne una soluzione che si applicava alla Luna, e fece dei progressi nella teoria planetaria.

La cometa di Halley (Cap. X, § 200) "*doveva*" apparire nel 1758; siccome il tempo si avvicinava, Clairaut si prese l'incarico di calcolare le perturbazioni alle quali essa sarebbe stata soggetta dalla sua ultima apparizione in poi, dovute all'influenza dei due grandi pianeti Giove e Saturno, vicinissimo ai quali avrebbe dovuto passare. Un calcolo estremamente laborioso dimostrò che la cometa avrebbe ritardato cento giorni per causa di Saturno e cinquecento diciotto per causa di Giove; e, in conseguenza di ciò, egli annunziò all'Accademia, verso la fine del 1758,

che la cometa sarebbe passata al suo perielio (il punto della sua orbita più vicino al Sole, *P* nella figura 80) verso il 13 aprile dell'anno seguente, quantunque, tenuto conto di certi difetti di calcolo, vi avrebbe potuto, in un modo o in un altro, essere un errore di un mese. La cometa fu ansiosamente aspettata dal mondo astronomico, e fu per il primo veduta da un dilettante, *Giorgio Palitzsch*

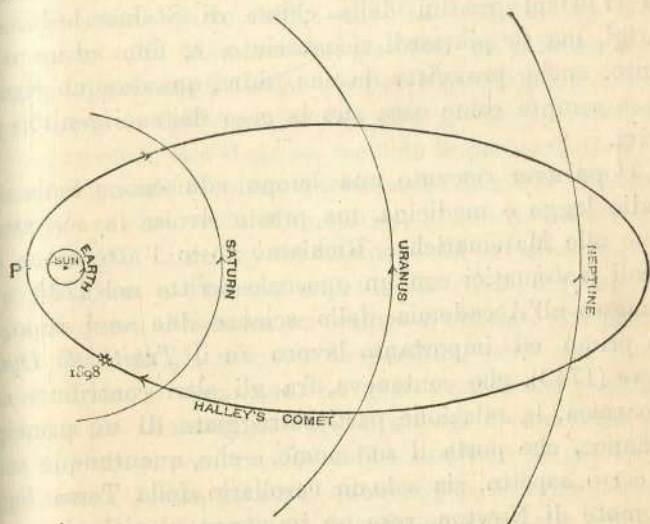



Fig. 80. — *L'orbita della cometa di* Halley.

(1723-1788) di Sassonia il giorno di Natale del 1758; passò al perielio precisamente un mese e un giorno prima del tempo designato da Clairaut.

La brillante congettura di Halley in tal modo si avverò pienamente, e così un nuovo componente fu aggiunto al mondo solare, e si ebbero speranze — che furono poi ampiamente conseguite — di poter sottoporre i calcoli riguardanti le comete alle medesime norme dei pianeti. Le superstizioni, che accompagnavano le comete, ebbero con queste scoperte un nuovo colpo.

Sembra che Clairaut possedesse attrattive personali, e figurasse nella società parigina come persona cospicua. Disgraziatamente però le sue forze non corrispondevano ai suoi doveri sociali e scientifici, e morì nel 1765, quando molto ancora si poteva attendere dal suo straordinario ingegno (1).

232. *Jean-le-Rond D'Alembert* fu rinvenuto bambino nel 1714 sui gradini della chiesa di St-Jean-le-Rond a Parigi, ma fu più tardi riconosciuto, e, fino ad un certo punto, anche provvisto da suo padre, quantunque riguardasse sempre come casa sua la casa dei suoi genitori putativi.

Dopo aver ricevuto una buona educazione scolastica, studiò legge e medicina, ma presto rivolse la sua attenzione alle Matematiche. Richiamò tosto l'attenzione dei circoli matematici con un opuscolo scritto nel 1738, e fu ammesso all'Accademia delle scienze due anni dopo. Il suo primo ed importante lavoro fu il *Traité de Dynamique* (1743), che conteneva, fra gli altri contributi alla Meccanica, la relazione particolareggiata di un principio dinamico, che porta il suo nome, e che, quantunque sotto un certo aspetto, sia solo un corollario della Terza legge sul moto di Newton, rese un immenso servizio in quasi tutti i problemi generali dinamici, astronomici od altri. Dopo alcuni anni ancora diede moltissimi contributi alla Fisica matematica, come pure al problema dei tre corpi; e nel 1749 pubblicò il suo lavoro sulla precessione e sulla nutazione, del quale abbiamo già parlato (cap. X, § 215). Da quel tempo in poi la sua energia mentale fu più che altro spesa in lavori all'infuori delle Matematiche. Per pa-

(1) La longevità è stata una caratteristica notevole dei grandi astronomi matematici; Newton morì a 85 anni; Eulero, Laplace e Lagrange passarono i 75, e d'Alembert aveva quasi 66 anni quando morì.

pochi anni collaborò con Diderot alla pubblicazione della famosa *Enciclopedia Francese*, che cominciò a pubblicarsi nel 1751, e che esercitò una così grande influenza sulla filosofia e sulla politica contemporanea. D'Alembert scrisse l'introduzione che fu letta all'*Académie Française* (1) nel 1754 in occasione della sua ammissione a quel grande corpo accademico, come pure una gran varietà di Note scientifiche. Nell'ultima parte della sua vita, che finì nel 1783, scrisse poco sulle Matematiche, pubblicò un'infinità di libri sulla letteratura filosofica e sopra soggetti politici (2), e come segretario dell'Accademia scrisse gli elogi di settanta dei suoi membri. Era dunque, secondo le parole di Carlyle, " Uomo di grandi facoltà, specialmente di molta chiarezza e metodo; celebre nella Matematica, e non meno celebre, con meraviglia di molti, nel campo della letteratura ".

D'Alembert e Clairaut erano molto rivali, e quasi ogni lavoro di quest'ultimo era severamente criticato dal primo, benchè Clairaut gli rendesse la pariglia, però con molto minore ardore e veemenza. La gran riputazione popolare acquistata da Clairaut in seguito al suo lavoro sulla cometa di Halley, sembra che abbia suscitato la gelosia di D'Alembert. Questa rivalità, quantunque di certo non sia stata un bello spettacolo, fu nondimeno utile alla scoperta e perciò al miglioramento di molti punti deboli nel lavoro di entrambi. D'altra parte pare che le doti caratteristiche di D'Alembert siano state piuttosto di uomo piacevole e grazioso. Fu sempre povero, e nonostante ricusò offerte magnifiche sia da parte di Caterina II di Russia, che di

(1) È mestieri distinguere quest'Accademia che, prima di tutto, è letteraria, dall'altra molto meno famosa Accademia delle Scienze di Parigi, alla quale costantemente ci riferiamo (semplicemente chiamandola Accademia) in questo capitolo e nei precedenti.

(2) Per es.: *Mélanges de Philosophie de l'Histoire e de Littérature*, *Éléments de Philosophie; Sur la Destruction des Jésuites.*

Federigo il Grande, e preferì mantenere la propria indipendenza, benchè si tenesse cara l'amicizia di ambedue questi sovrani, ed accettasse una piccola pensione da quest'ultimo. Viveva semplicissimamente, e, malgrado la sua povertà, fu generoso verso la madre adottiva, verso molti giovani studenti, e verso quelli che conobbe.

233. Eulero, Clairaut e D'Alembert tutti e tre riuscirono ad ottenere, indipendentemente l'uno dall'altro, e quasi simultaneamente, soluzioni del problema dei tre corpi, in un modo adattabile alla teoria lunare. Eulero publicò nel 1746 alcune tavole piuttosto imperfette della Luna, le quali dimostrano che egli ne possedeva di già la soluzione. Clairaut e D'Alembert presentarono all'Accademia, nel 1747, le Memorie contenenti le loro rispettive soluzioni con applicazioni alla Luna ed a certi problemi planetari. In ognuna di queste Memorie s'incontrano le medesime difficoltà, che aveva incontrato Newton; il moto calcolato dell'apogeo della Luna era solo appena la metà di quello osservato. Clairaut dapprincipio superò questa difficoltà ammettendo un cambiamento nella legge di gravitazione, e pervenne ad un risultato che sembrava a lui soddisfacente, ammettendo che la gravitazione variasse, parte secondo l'inversa del quadrato e parte secondo l'inversa del cubo della distanza (1). Anche Eulero aveva dei dubbi intorno alla esattezza della legge dell'inversa dei quadrati. Due anni più tardi (1749), riandando questi calcoli, Clairaut scoprì che certi termini che apparivano di poca importanza al principio del calcolo, ed erano perciò stati omessi, erano invece importantissimi. Quando si tenne conto di essi, il moto dell'apogeo, come era dedotto dalla teoria, coincideva quasi con quello osservato. Questo fu il primo dei tanti

(1) Egli assunse una legge di attrazione rappresentata da $\frac{\mu}{r^2} + \frac{\nu}{r^3}$

casi di grave discrepanza fra la teoria e l'osservazione, che da principio screditò la legge di gravitazione; ma è stato dipoi rimossa per dar luogo ad una nuova verificazione della sua esattezza. Mentre Clairaut annunziava la sua scoperta, Eulero appunto, con un nuovo calcolo, venne intrinsecamente al medesimo risultato, e D'Alembert, spingendo l'approssimazione ancor più innanzi, ne ottenne uno ancora più esatto. Un nuovo calcolo sul movimento della Luna fatto da Clairaut gli fece assegnare il premio dell'Accademia di Pietroburgo, e fu pubblicato nel 1752 col titolo di *Théorie de la Lune*. Due anni dopo, pubblicò una serie di tavole lunari, e poco prima della sua morte (1765) fece una edizione riveduta della *Théorie de la Lune*, nella quale incluse una nuova serie di tavole.

D'Alembert, dopo la sua Memoria del 1747, pubblicò una completa teoria lunare (con una serie abbastanza numerosa di tavole) che, quantunque realmente condotta a termine nel 1751, fu pubblicata soltanto nel 1754, come il primo volume delle sue *Recherches sur différents points importants du système du Monde*. Nel 1756 pubblicò una serie migliorata di tavole, e alcuni mesi dopo un terzo volume delle *Recherches* con qualche nuovo svolgimento della teoria. Il secondo volume dei suoi *Opuscules mathématiques* (1762) conteneva una nuova Memoria su quest'argomento, con una terza serie di tavole, che erano alquanto migliori delle prime.

La prima teoria lunare di Eulero (*Theoria motuum Lunæ*) fu pubblicata nel 1753, benchè fosse stata mandata all'Accademia di Pietroburgo un anno o due avanti. In una appendice (1) egli indica, con caratteristica franchezza, i difetti per i quali, secondo lui, pare ne soffra la

(1) Questa appendice è memorabile, siccome quella che dà, per la prima volta, il metodo della *variazione dei parametri*, che Lagrange in seguito sviluppò e adoperò poi con tanto successo.

sua trattazione, e suggerisce un metodo nuovo per trattare l'argomento. Su questa teoria Tobia Mayer fondò le sue tavole, di cui abbiamo parlato nel precedente Capitolo (§ 226). Molti anni dopo Eulero escogitò un modo affatto nuovo di trattare tale soggetto; e, dopo certe Memorie preliminari, concernenti generalmente il metodo e riguardanti parti speciali del problema, egli compì la teoria lunare molto particolareggiatamente, con l'aiuto di uno dei suoi figli e due altri assistenti; e pubblicò il tutto insieme alle tavole, nel 1772. Egli tentò, ma senza riuscita, di trattare con queste teorie l'accelerazione secolare del movimento medio, che Halley aveva scoperto (Cap. X, § 201).

Nel trattare matematicamente qualunque problema astronomico alcuni dati debbono essere presi dalla osservazione, e dei tre astronomi pare che Clairaut sia stato il più abile nell'utilizzare le osservazioni, molte delle quali egli si procurò da Lacaille. Quindi le sue tavole rappresentano i reali movimenti della Luna molto più esattamente di quelle di D'Alembert, ed erano anche superiori, sotto certi rispetti, a quelle basate sulla seconda e bene elaborata teoria di Eulero; le ultime tavole di Clairaut raramente erano errate di più di 1′½, e potrebbero servire a determinare la longitudine con l'approssimazione di circa ¾ di grado. Però le tavole di Clairaut non furono mai molto usate, dappoichè quelle di Tobia Mayer, migliorate da Bradley, furono trovate, in pratica, assai più esatte: ma Mayer ricorreva tanto all'osservazione, che le sue formole non possono riguardarsi come realmente dedotte dalla gravitazione, come quelle di Clairaut. Matematicamente la seconda teoria di Eulero è la più interessante e fu di grande importanza come base di ulteriori sviluppi. La teoria lunare più moderna (1) è, in un certo senso, un ritorno ai metodi di Eulero.

---

(1) Quella del notevole astronomo americano dott. G. W. Hill (Cap. XIII, § 286).

234. La teoria lunare di Newton si può dire che abbia dato un saggio *qualitativo* delle disuguaglianze lunari rivelate dall'osservazione, al tempo della pubblicazione dei *Principia*, e di averne indicate altre che non erano ancora state osservate. Ma quest'ultimo tentativo di spiegare queste irregolarità *quantitativamente*, ebbe un successo parziale. Eulero, Clairaut e D'Alembert misero la teoria lunare sotto una forma affatto nuova, facendo uso di metodi analitici invece dei geometrici; un vantaggio di questa nuova forma fu che, mediante l'impiego del lavoro necessario, i calcoli poterono in generale essere spinti fin dove si richiedeva, e si poterono condurre al più alto grado di esattezza. Il risultato del loro più perfezionato sviluppo consisteva in questo che — con una eccezione — le ineguaglianze, risultate dalla osservazione, erano spiegate con assai esattezza tanto quantitativamente q anto qualitativamente; così che le tavole, come quelle di Clairaut, basate sulla teoria, rappresentavano assai strettamente i movimenti lunari. Faceva eccezione l'accelerazione secolare; vedemmo come Eulero non potè spiegarla; D'Alembert ebbe la stessa sorte, e Clairaut pare non abbia considerata la questione.

235. Le principali disuguaglianze nel moto planetario che l'osservazione aveva rivelato al tempo di Newton, erano i moti progressivi dell'asse dell'orbita della Terra, e una lentissima diminuzione nella obliquità dell'eclittica. A ciò devonsi aggiungere le alterazioni nelle velocità del movimento di Giove e di Saturno, scoperti da Halley (Cap. X, § 204).

Newton aveva dimostrato che, generalmente, l'effetto perturbante di un dato pianeta produce spostamenti nella linea degli apsidi dell'orbita di un altro pianeta ed un cambiamento nelle relative posizioni dei piani, nei quali i pianeti disturbatori e disturbati si muovevano; ma non aveva fatto calcoli particolareggiati. Effetti generali di questa natura, con quelli già conosciuti, erano però indi-

cati più o meno distintamente, come risultato di osservazioni, in varie tavole planetarie, pubblicate fra la data dei *Principia* e la metà del secolo XVIII.

Le irregolarità nel movimento della Terra, addimostrandosi esse stesse come irregolarità nel moto apparente del Sole, e quelle di Giove e di Saturno, furono le più interessanti e le più importanti delle disuguaglianze planetarie, e parecchi premi a concorso sull'uno o sull'altro soggetto furono più volte offerti dall'Accademia di Parigi.

Le perturbazioni della Luna di necessità implicavano, per il principio di azione e reazione, corrispondenti ma minori perturbazioni della Terra; queste furono discusse in varie occasioni da Clairaut e da Eulero, e ancor più ampiamente da D'Alembert.

Nella sua Memoria del 1747 (§ 233) Clairaut fece qualche tentativo per adattare la sua soluzione del problema dei tre corpi al caso del Sole, della Terra e di Saturno; il qual caso planetario, a cagione della gran distanza di Saturno dal Sole (quasi dieci volte quella della Terra), è quello che più si avvicina al caso planetario della Terra, della Luna e del Sole (cfr. § 228).

Dieci anni dopo egli discusse assai particolareggiatamente le perturbazioni della Terra dovute a Venere e alla Luna. Questa Memoria era notevole, perchè conteneva il primo tentativo per determinare la massa dei corpi celesti mediante l'osservazione delle perturbazioni che provenivano da essi. Clairaut applicò questo metodo alla Luna ed a Venere, calcolando le perturbazioni nel movimento della Terra dovute alla loro azione (che di necessità dipendeva dalla loro massa) e dipoi paragonando i risultati con le osservazioni di Lacaille sul Sole. La massa della Luna si trovò in tal modo che era $\frac{1}{67}$ e quella di Venere $\frac{2}{3}$ di quella della Terra: il primo risultato costituì un notevole miglioramento del valore dato da Newton, dedotto dalle maree (Cap. IX, § 189), e il secondo, che era interamente

nuovo, i precedenti valori essendo puramente congetturali, si accorda abbastanza con le misure moderne (1). È cosa degna di nota come esempio della reciproca influenza della osservazione e della teoria matematica, che mentre Clairaut si valeva delle osservazioni di Lacaille per la sua teoria, a sua volta Lacaille si valeva dei calcoli di Clairaut delle perturbazioni della Terra, per migliorare le sue tavole sul Sole, pubblicate nel 1758.

Il metodo di Clairaut per risolvere il problema dei tre corpi fu anche adoperato da *Giuseppe Girolamo Le-Français-Lalande* (1732-1807). Conosciuto principalmente come un gran popolarizzatore dell'Astronomia, e come anche un infaticabile calcolatore ed osservatore delle perturbazioni di Marte prodotte da Giove, di Venere prodotte dalla Terra, e della Terra prodotte da Marte, dove però non riuscì che debolmente.

D'Alembert fece qualche progresso nel trattamento generale delle perturbazioni planetarie nel secondo volume delle sue *Recherches*, e applicò il suo metodo a Giove ed a Saturno.

236. Eulero spinse la teoria generale anche più in là in una serie di Memorie che cominciarono nel 1747. Fece parecchi tentativi per spiegare le irregolarità di Giove e di Saturno, ma non riuscì mai a rappresentare le osservazioni in modo soddisfacente. Egli dimostrò, pertanto, che le perturbazioni dovute agli altri pianeti farebbero avanzare annualmente quasi di 13″ la linea degli apsidi della Terra, diminuire annualmente di quasi 48″ l'obliquità dell'eclittica; ambedue i risultati erano in pieno accordo e con le osservazioni e coi calcoli minuziosi fatti dipoi. Egli indicò pure l'esistenza di irregolarità di varî altri

---

(1) Esse dànno circa 0,78 per la massa di Venere, quella della Terra essendo «uno».

pianeti, le quali, per la maggior parte, non erano state osservate (1).

In un saggio, a cui l'Accademia destinò un premio nel 1756, ma che fu pubblicato la prima volta nel 1771, egli sviluppò assai compiutamente, un modo di trattare le perturbazioni che egli aveva indicato nella sua teoria lunare del 1753. Siccome questo metodo, conosciuto sotto il nome di *variazione degli elementi* o *parametri,* ebbe una parte importante nelle susseguenti ricerche, vale la pena di farne qui cenno.

Se non teniamo conto delle perturbazioni, si può riguardare che un pianeta si muove in una ellisse, di cui il Sole occupa un foco. L'ampiezza e la forma dell'ellisse possono essere definite dalla lunghezza del suo asse e dalla eccentricità; il piano nel quale l'ellisse è situata è determinato dalla posizione della linea chiamata la linea dei *nodi,* in cui essa taglia un piano fisso, il quale comunemente è l'eclittica, e dall'inclinazione dei due piani. Quando queste quattro quantità sono determinate, l'ellisse può ancora muoversi intorno al suo foco nel suo proprio piano; ma se la direzione dell'asse è anch'essa fissata, l'ellisse è compiutamente determinata. Se di più la posizione del pianeta nella sua ellissi è in un certo dato tempo conosciuta, il moto è del tutto determinato e la sua posizione in altro dato tempo può essere calcolata. Così vi sono sei quantità conosciute come *elementi* che perfettamente determinano il movimento di un pianeta non soggetto a perturbazioni.

Quando si tien conto delle perturbazioni, il cammino descritto da un pianeta in una qualunque rivoluzione non è altrimenti una ellisse, quantunque se ne allontani di poco; mentre nel caso della Luna le deviazioni sono molto maggiori. Ma se paragoniamo i moti di un pianeta in due epoche

---

(1) In luogo di « annualmente », in quanto riguarda la diminuzione dell'obliquità dell'eclittica, devesi leggere « in un secolo ».
(N. d. Tr.)

molto distanti, benchè in tutte e due i casi l'orbita percorsa sia presso che una ellisse, le due ellissi differiscono in qualche modo. Per esempio, fra l'epoca di Tolomeo (150 d. C.) e quella di Eulero la direzione della linea dell'asse dell'orbita della Terra variò di quasi 5°, e alcuni degli altri elementi pure variarono leggermente. Quindi, avendo a che fare col moto di un pianeta durante un lungo periodo di tempo, è

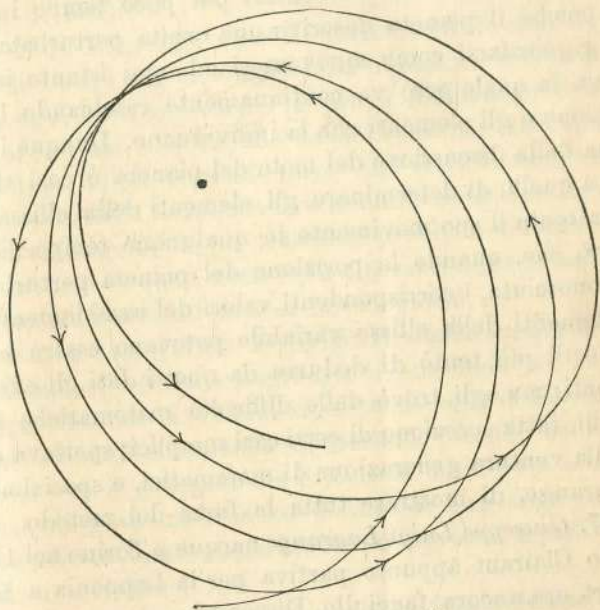



Fig. 81. — *Una ellissi variabile.*

conveniente di introdurre l'idea di un'orbita ellittica che gradualmente cambia posizione e probabilmente anche grandezza e forma. Una conseguenza consiste in questo: che il reale cammino descritto nel corso di un numero considerevole di rivoluzioni è una curva che non ha più gran somiglianza con una ellisse. Se, per esempio, la linea degli apsidi ruota uniformemente, mentre gli altri elementi rimangono inalterati, l'orbita descritta è come quella mostrata nella figura.

Il concetto elaborato da Eulero consiste nel rappresentare qualunque perturbazione di un pianeta, nel corso di una rivoluzione o in un tempo più lungo, mediante cambiamenti provocati nell'orbita ellittica. In qualunque luogo si trovi un pianeta, e qualunque sia (dentro certi limiti) (1) la sua velocità o la sua direzione di movimento, l'ellisse si trova sempre col Sole in un foco, così che il pianeta può riguardarsi come moventesi per poco tempo in essa. Ma poichè il pianeta descrive una orbita perturbata, esso può riguardarsi come muoventesi ad ogni istante in una ellisse, la quale però va continuamente cambiando la sua posizione e gli elementi che la individuano. Dunque il problema della discussione del moto del pianeta è così rimandato a quello di determinare gli elementi della ellisse, che rappresenta il suo movimento in qualunque tempo. Eulero mostrò che, quando la posizione del pianeta perturbatore era conosciuta, i corrispondenti valori del cambiamento degli elementi della ellisse variabile potevano essere calcolati; e di più tentò di dedurre da questi dati gli effettivi elementi; ma egli trovò delle difficoltà matematiche insuperabili, fatta eccezione di certi casi semplici; spettava dunque alla ventura generazione di matematici, e specialmente a Lagrange, di mostrare tutta la forza del metodo.

237. *Giuseppe Luigi Lagrange* nacque a Torino nel 1736, quando Clairaut appunto partiva per la Lapponia e D'Alembert era ancora fanciullo. Discendeva da una famiglia francese, che, per tre generazioni, era vissuta in Italia. Mostrò di buon'ora attitudini straordinarie per le Matematiche e fu nominato professore nella Scuola d'artiglieria a Torino ancora ragazzo, mentre i suoi scolari erano maggiori di lui. Pochi anni dopo, fu promotore della fon-

---

(1) L'orbita potrebbe essere una parabola o una iperbole, benchè ciò non avvenga nel caso di nessun pianeta conosciuto.

dazione di una Società scientifica, che divenne poi l'Accademia delle Scienze di Torino e che pubblicò, nel 1759, i primi volumi sulle Transazioni, che contengono molte Note di Matematica di Lagrange, scritte a più riprese. Una di queste (1) impressionò talmente Eulero, che aveva fatto studi speciali sull'argomento ivi trattato, che egli subito ottenne per Lagrange l'onore che fosse ammesso all'Accademia di Berlino.

Nel 1764 Lagrange vinse il premio offerto dall'Accademia di Parigi per un saggio sulla librazione della Luna. In esso egli, non solo diede la prima soddisfacente, sebbene incompleta, discussione sulla librazione della Luna (Cap. VI, § 133), dovuta alle forme non sferiche tanto della Terra quanto della Luna, ma fece eziandio conoscere un metodo del tutto generale per trattare i problemi dinamici (2), che è la base di quasi tutti i più alti rami della Dinamica, che sono stati trattati fino ai nostri giorni.

Due anni dopo (1766), Federigo II, dietro suggerimento di D'Alembert, chiese a Lagrange di succedere ad Eulero (che era ritornato a Pietroburgo) come capo della sezione matematica dell'Accademia di Berlino, dicendo nella sua richiesta che il più gran Re d'Europa desiderava alla sua Corte il più gran matematico d'Europa. Lagrange accettò questa offerta tanto magnificamente espressa, e passò ventun anni a Berlino.

In questo tempo pubblicò una serie straordinaria di lavori sull'Astronomia, sulla Dinamica generale, e sopra svariatissimi soggetti di Matematiche pure. Parecchi dei più importanti degli scritti astronomici furono inviati a Parigi e furono premiati dall'Accademia; molti altri lavori — quasi

---

(1) *Sul Calcolo delle variazioni.*

(2) Il fondamento delle equazioni generali del moto, per mezzo della Combinazione delle *velocità virtuali* e del *principio di D'Alembert.*

sessanta in tutto — furono pubblicati dall'Accademia di Berlino. In questo periodo di tempo scrisse la sua grande opera la "*Mécanique Analytique*„ una delle più belle opere di Matematiche, nella quale sviluppò i principî dinamici generali contenuti nelle sue prime Note sulla librazione. Curioso a dirsi, trovò difficilmente chi volesse pubblicare il suo capolavoro, che venne alla luce soltanto nel 1788 a Parigi. Un anno prima aveva lasciato Berlino, in seguito alla morte di Federigo II, ed aveva accettato l'offerta di Luigi XVI di far parte dell'Accademia di Parigi. Circa questo tempo egli soffriva di profonde malinconie, che lo assalirono dipoi quasi periodicamente, e che si crede generalmente dovute all'eccesso di lavoro nella carriera dei suoi primi anni a Torino. Si dice che nei due anni che seguirono la pubblicazione della sua "*Mécanique Analytique*„ non guardasse mai l'opera sua, e attendesse più che altro alla chimica o ad altri rami della scienza o a lavori non scientifici. Nel 1790 fu fatto presidente della Commissione nominata per escogitare un nuovo sistema di pesi e misure, che fu poi l'attuale sistema metrico decimale: e il lavoro scientifico, unito a quell'impresa, a poco a poco fece rinascere in lui l'interessamento per le Matematiche e l'Astronomia. Evitò egli sempre la politica, e passò incolume a traverso la Rivoluzione, a differenza del suo amico Lavoisier, il gran chimico, e Bailly, lo storico dell'Astronomia, ambedue ghigliottinati durante il regno del terrore. Era infatti tenuto in grande onore dai diversi governi che ressero la Francia fino al tempo della sua morte; nel 1793 fu risparmiato dal decreto di bando per tutti i forestieri; poi fu fatto professore di Matematiche prima alla Scuola Normale (1795), indi alla Scuola Politecnica (1797), posto che egli tenne fino alla morte, avvenuta nel 1813. In questo tempo della sua vita pubblicò, oltre un gran numero di Note sulla Astronomia e sulle Matematiche, tre libri importanti sulle Matematiche

pure (1), e quando morì non aveva ancora ultimata una seconda edizione della *Mécanique Analytique*, e però del secondo volume fu fatta una pubblicazione postuma.

238. *Pietro Simone Laplace*, figlio di un piccolo fittaiuolo, nacque a Beaumont in Normandia nel 1749; era perciò tredici anni più giovane del suo gran rivale Lagrange. In grazia di certi vicini benefattori, fu dapprima allievo e poi maestro della Scuola Militare della sua piccola città nativa. All'età di 18 anni si recò a Parigi con una lettera di presentazione per D'Alembert; e, siccome non fu richiamata attenzione alcuna su essa, scrisse una lettera a D'Alembert stesso sui principî della Meccanica, che impressionò tanto D'Alembert che subito s'interessò del giovane matematico, e gli fece avere il posto d'insegnante nella Scuola militare di Parigi. Da quel tempo in poi Laplace visse continuamente a Parigi, occupando vari posti ufficiali. Il suo primo Trattato (sulle Matematiche pure) fu pubblicato nelle *Transazioni* dell'Accademia di Torino, durante gli anni 1766-69, e da quest'epoca fino al termine della sua vita egli pubblicò una serie non interrotta di Note e libri di Astronomia e delle parti delle Matematiche riferentisi ad essa.

Il lavoro di Laplace sull'Astronomia è, per la maggior parte, contenuto nella sua *Mécanique céleste*; i cinque volumi della quale vennero pubblicati ad intervalli fra il 1799 e il 1823. In questo gran trattato egli intese a riassumere tutto ciò che era stato fatto intorno alla Astronomia gravitazionale da Newton in poi. L'altro solo libro di Astronomia, che abbia pubblicato, è l'*Exposition du système du Monde* (1796), uno dei trattati popolari più perfetti di Astronomia, scritto con garbo squisito, nel quale il gran

(1) *Théorie des fonctions Analytiques* (1797); *Résolution des Équations numériques* (1798); *Leçons sur le calcul des Fonctions* (1805).

matematico non usa mai nè formole algebriche, nè figure geometriche. Pubblicò altresì, nel 1812, un trattato sulla teoria delle probabilità (1), assai ben fatto, sul quale sono stati fondati tutti gli altri che furono pubblicati di poi; e nel 1819 un più popolare *Essai de Philosophie* sullo stesso soggetto.

I meriti personali di Laplace non sembrano avere avuto quell'attrattiva che adornava Lagrange. Aveva la vanità della sua reputazione come matematico, e non sempre era generoso verso le scoperte dei suoi rivali. Nondimeno verso Lagrange si mostrò quanto mai deferente e aiutò sempre cortesemente i giovani che promettevano di riescire nelle Matematiche; ma mentre era perfettamente onesto e coraggioso nel sostenere le sue opinioni scientifiche e filosofiche, in politica somigliava molto al Vicario di Bray, le opinioni del quale egli professò con molto successo. Fu nominato membro della Commissione dei Pesi e Misure, e dipoi del " *Bureau des Longitudes* ", e fu fatto professore alla Scuola Normale, quando fu fondata. Quando Napoleone divenne primo Console, Laplace chiese ed ottenne il posto di Ministro degl'interni; ma — fortunatamente per la scienza — fu considerato incompetente e come tale dovè ritirarsi dopo 6 settimane (1799) (2); in compenso fu nominato membro del Senato novellamente fondato. Il terzo volume della *Mécanique céleste,* pubblicato nel 1802, porta la dedica all'" Eroico Paciere dell'Europa ", dalla cui mano ricevè diverse volte altre distinzioni, e dal quale fu creato Conte, quando fu fondato l'Impero. Alla restaurazione dei Borboni, nel 1814, egli offrì i suoi servigi ad essi; in compenso fu fatto Marchese. Nel 1816 ricevè un onore

(1) *Thèorie analytique des Probabilités.*

(2) Il fatto che il posto fu poi conferito al fratello di Napoleone Luciano, fece nascere qualche dubbio sulla giustizia del verdetto d'incompetenza dato da Napoleone contro Laplace.

non comune per un matematico (avuto però da D'Alembert) di essere eletto uno dei Quaranta "Immortali" dell'"Académie Française", distinzione che egli dovè in gran parte all'eccellenza letteraria del suo lavoro del *Système du Monde*.

Nonostante queste distrazioni, egli lavorò indefessamente intorno alle Matematiche ed all'Astronomia, e anche dopo aver compiuto la *Mécanique céleste* ne scrisse un supplemento, che fu pubblicato dopo la sua morte (1827).

Le sue ultime parole: *Ce que nous connaissons est peu de chose, ce que nous ignorons est immense,* dette da un uomo che aveva fatto fare sì gran passi alla scienza, dànno del suo carattere un'idea migliore di quella che non risulti dell'esame della sua carriera.

239. Eccettuato l'opuscolo di Lagrange sulla librazione, quasi tutte le sue importanti contribuzioni all'Astronomia e quelle di Laplace furono fatte quando l'opera di Clairaut e di D'Alembert era quasi terminata, quantunque l'attività di Eulero continuasse per quasi più di venti anni. Lagrange p rò gli sopravvisse di trent'anni e Laplace di più di quaranta; essi portarono insieme la scienza astronomica ad un grado molto più alto che i loro tre predecessori.

240. Alla teoria lunare Lagrange contribuì relativamente poco, se pur non si considerino i suoi metodi generali applicabili a questa teoria come a molti problemi astronomici, mentre Laplace donò molta attenzione ad essa. Di tutte le sue speciali scoperte su questo soggetto la più notevole fu la sua spiegazione dell'accelerazione secolare del movimento medio della Luna (Cap. X, § 201), che aveva impensierito tanti astronomi; Lagrange si era provato a spiegarla (1774), ma ebbe un tale insuccesso, che, quasi quasi era proclive a non prestar fede alle prime osservazioni, sulle quali era basata l'esistenza del fenomeno. Laplace, dopo aver tentato i metodi ordinari senza riuscita,

si provò a spiegarla col supporre che la gravitazione non fosse un effetto trasmesso istantaneamente, ma che, come la luce, impiegasse un certo tempo a traversare lo spazio fra il corpo attraente e l'attratto; ma anche questa via non condusse a nulla. Finalmente la fece derivare da un effetto indiretto planetario (1787). È noto che certe perturbazioni che la luna soffre, dovute all'azione del Sole, dipendono, fra le altre cose, dall'eccentricità dell'orbita della Terra; questa è uno degli elementi (§ 236) che va cambiando per l'azione dei pianeti, e va da molti secoli assai lentamente diminuendo; la perturbazione in questione va però variando molto lentamente, e la velocità media del moto della Luna va, per conseguenza, crescendo molto adagio, ossia la durata del mese va decrescendo. L'intero effetto è necessariamente minimo, e solo diviene percettibile in un lungo periodo di tempo. Il calcolo di Laplace dimostrò che la Luna guadagnerebbe, in un secolo o in circa 1300 intiere rivoluzioni, circa 10″ (più esattamente 10″,2) dovuti a questa causa; così che la sua posizione nel cielo differirebbe di questo valore, se questa causa perturbatrice non esistesse; fra due secoli l'angolo guadagnato sarebbe di 40″, fra tre secoli di 90″, e così via. Ciò si può esprimere in altro modo, dicendo che la durata del mese diminuisce quasi un trentesimo di secondo durante un secolo. Oltre a ciò, come dimostrò Laplace (§ 245), l'eccentricità dell'orbita della Terra non continuerà a decrescere indefinitivamente, ma, dopo un immenso periodo, contato a migliaia d'anni, ricomincerà a crescere, e il moto della Luna ridiverrà per conseguenza più lento.

Il risultato di Laplace concordava quasi esattamente con quello dato dall'osservazione, e così l'ultima discrepanza nota ed importante pel sistema solare fra la teoria e l'osservazione, sembrò essere stata tolta; e, per una curiosa coincidenza, ciò fu effettuato precisamente cento anni dopo la pubblicazione dei *Principia*.

Molti anni dopo, nondimeno, la spiegazione di Laplace non appariva del tutto soddisfacente e compiuta, come era parsa allora (Cap. XIII, § 287).

La medesima investigazione rivelò a Laplace l'esistenza di alterazioni di un carattere simile, e dovute alla medesima causa, di altri elementi nell'orbita della Luna, le quali, benchè non osservate prima, erano state indicate da osservazioni di antichi eclissi.

241. Il terzo volume della *Mécanique céleste* contiene una trattazione generale della teoria lunare, basata sopra un metodo interamente diverso da quelli usati fino allora e portata a compimento con molti particolari. “ Il mio scopo, „ dice Laplace, “ in questo libro è di far riconoscere nella suprema legge della gravitazione universale, la sorgente di tutte le ineguaglianze del movimento della Luna, e dipoi usare questa legge come mezzo di scoperta per perfezionare la teoria di questo movimento e per dedurre da essa diversi elementi importanti nel sistema della Luna. „ Laplace stesso non calcolò tavole lunari, ma l'astronomo viennese *Giovanni Tobia Bürg* (1766-1834) fece un uso considererevole delle sue formule, unitamente ad un gran numero di osservazioni di Greenwich, per la costruzione di tavole lunari, che furono mandate all' Istituto di Francia nel 1801 (prima della pubblicazione della completa teoria lunare di Laplace), e pubblicate in una forma alquanto riveduta nel 1806. Pochi anni dipoi (1812) *Giovanni Carlo Burckhardt* (1773-1825), tedesco, stabilitosi a Parigi e che lavorava sotto Laplace e sotto Lalande, pubblicò una nuova collezione di tavole lunari basate direttamente sulle formule della *Mécanique céleste*. Esse furono comunemente accettate invece di quelle di Bürg, che costituivano, alla lor volta, un miglioramento su di quelle di Mason e di Mayer.

Lavori posteriori sulla teoria lunare si possono benissimo riguardare come appartenenti a un nuovo periodo dell'Astronomia (Cap. XIII, § 286).

242. Le osservazioni avevano rivelata la presenza di disuguaglianze nei movimenti lunare e planetario, che sembravano appartenere a due classi diverse. Da una parte abbiamo ineguaglianze tali, come la maggior parte di quelle della Luna, che compivano il loro ciclo di cambiamenti in una sola rivoluzione o poche rivoluzioni del corpo perturbatore; e dall'altra, tali ineguaglianze, come l'accelerazione secolare del movimento medio della Luna, e il moto dell'àpside della Terra, nelle quali una continua perturbazione si osservava agente sempre nella medesima direzione e che non dava segno alcuno di compiere un ciclo periodico di cambiamenti.

Si vide tosto che la trattazione matematica delle perturbazioni richiedeva metodi differenti per discutere le due classi di disuguaglianze che corrispondevano ad un dipresso a quelle or ora menzionate, e alle quali furon conferiti a poco a poco i nomi di *periodiche* e *secolari*. Questa distinzione rappresenta una parte considerevole nell'opera di Eulero (§ 236); ma fu Lagrange che, per il primo, ne riconobbe la grande importanza, particolarmente per la teoria planetaria, e fece uno studio speciale delle disuguaglianze secolari.

Allorchè si studiano le perturbazioni di un pianeta per l'azione di un altro, divien necessario valersi di una espressione matematica per rappresentare la forza disturbatrice esercitata dal secondo pianeta. Questa espressione dipende in generale sia dagli elementi delle due orbite, sia dalle posizioni dei pianeti nell'istante considerati. Può essere perciò divisa in due parti, una delle quali dipende dalle posizioni dei pianeti (come dagli elementi), mentre che l'altra dipende solamente dagli elementi delle due orbite, ed è indipendente dalle posizioni che nelle loro orbite i pianeti occupano in quel momento. Dacchè le posizioni dei pianeti nelle loro orbite cambiano rapidamente, la prima parte della forza disturbatrice cambia rapidamente, e produce in

generale, a piccoli intervalli di tempo, effetti in direzioni opposte, p. es., prima accelerando, poi ritardando il moto del pianeta disturbato, e le corrispondenti ineguaglianze di moto costituiscono le ineguaglianze periodiche, le quali, per la maggior parte, passano per un intero ciclo di cambiamenti nel corso di poche rivoluzioni dei pianeti, o anche più rapidamente. L'altra parte della forza disturbatrice rimane quasi inalterata per un periodo considerevole, e dà origine a variazioni negli elementi, che, perchè in generale assai piccole. rimangono per lungo tempo senza cambiamento sensibile, ma accumulandosi continuamente, divengono considerevoli con l'andar del tempo; queste sono le ineguaglianze secolari.

Generalmente parlando, possiamo dire: le disuguaglianze periodiche sono temporanee, e le ineguaglianze secolari permanenti nei loro effetti, o come Sir Giovanni Herschel si esprime:

" Le ineguaglianze secolari non sono altro infatti che ciò che rimane dopo il mutuo annullamento di una grossa quantità (come accade spesso) di quelle periodiche. Ma queste sono per natura transitorie e temporanee; spariscono in breve tempo, e non lasciano traccia. Il pianeta è per poco tempo fuorviato dalla sua orbita (la sua orbita che varia lentamente), ma vi ritorna quanto prima, per deviare subito altrettanto dall'altra parte, mentre che l'orbita variata si aggiusta e si acconcia da sè stessa con la media di queste deviazioni da ambe le bande di essa " (1).

" Temporanee " e " brevi " sono però termini relativi. Alcune disuguaglianze periodiche, specialmente nel caso della Luna, hanno periodi solo di pochi giorni, e le più, le sole che abbiano importanza, si estendono per un periodo di parecchi anni; però si sa che alcune si protrag-

(1) *Schizzi di Astronomia*, § 656.

gono per secoli o anche per migliaia d'anni e si possono riguardare come secolari, prendendo in considerazione un intervallo di parecchi anni. D'altra parte molte delle disuguaglianze secolari conosciute non sono realmente permanenti, ma sono fluttuanti come quelle periodiche, benchè soltanto per immensi periodi di tempo, che ordinariamente si fanno ascendere a diecine di migliaia d'anni.

Una differenza fra le teorie lunari e quelle planetarie consiste in ciò che nelle prime le ineguaglianze periodiche sono comparativamenle grandi e specialmente per gli usi pratici, ad es., per determinare la posizione della Luna alcuni mesi dopo, di grande importanza e laddove le disuguaglianze periodiche dei pianeti sono generalmente piccole e le ineguaglianze secolari sono le più interessanti.

Il metodo di trattazione degli elementi delle orbite ellittiche come variabili si adatta specialmente al caso delle ineguaglianze secolari, ma per le ineguaglianze periodiche è meglio in generale considerare il corpo come deviato da un'orbita ellittica, e studiare queste deviazioni.

" Il modo più semplice di riguardare queste varie perturbazioni consiste nell'immaginare il pianeta come moventesi secondo le leggi del moto ellittico sopra una ellisse, i cui elementi variano gradatamente, e di rendersi conto nel medesimo tempo che il vero pianeta oscilla intorno a questo pianeta fittizio, in una orbita piccolissima, la cui natura dipende dalle sue periodiche perturbazioni " (1).

Il primo metodo dovuto, come vedemmo, per la maggior parte ad Eulero, fu perfezionato e molto usato da Lagrange, di cui spesso porta il nome.

243. Fu dapprincipio supposto molto naturalmente che la lenta alterazione nella velocità dei movimenti di Giove e di Saturno (§§ 235, 236, e Cap. X, § 204) fosse una di-

---

(1) Laplace, *Sistema del mondo.*

suguaglianza secolare. Lagrange, nel 1766, tentò di spiegarla mediante questa ipotesi, la quale, quantunque avesse avuto un esito non molto felice, tuttavia condusse a rappresentare le osservazioni meglio che non avesse fatto Eulero. Laplace, nel suo primo lavoro sulle ineguaglianze secolari (1773), trovò, facendo uso di una analisi più completa, che le secolari alterazioni nelle velocità dei movimenti di Giove e di Saturno sembravano svanire del tutto, e tentò di spiegarle quali effetti provocati da una cometa, come spesso gli astronomi fanno in casi non spiegabili.

Nel 1773, *Giovanni Enrico Lambert* (1728-1777) scoprì, mediante uno studio delle osservazioni, che mentre Halley aveva trovato che Suturno si muoveva più lentamente che nei tempi antichi, ora si muoveva più velocemente che ai tempi di Halley; il qual risultato accennava ad una causa variabile e periodica di qualche specie.

Finalmente nel 1784 Laplace trovò la vera spiegazione. Lagrange aveva trovato, nel 1776, che se i tempi di rivoluzione di due pianeti sono esattamente proporzionali a due numeri interi, allora una parte della forza disturbatrice periodica produce un cambiamento secolare nei loro moti, agendo continuamente nella medesima direzione; quantunque facesse vedere che questo caso non avveniva nel sistema solare. Se, di più, i tempi di rivoluzione sono *quasi* proporzionali a due numeri interi (nessuno dei quali molto grande), allora una parte della forza periodica disturbatrice produce una irregolarità che non è propriamente secolare, ma ha un lunghissimo periodo; e una forza disturbatrice così piccola, da potersi trascurare, può, se è di questa specie, produrre considerevoli effetti (1). Ora Giove

---

(1) Se n, n' sono i movimenti medi di due pianeti, l'espressione per la forza disturbatrice contiene termini del tipo: $= \frac{sen}{cos}(np \pm n'p')t$, dove p, p' sono interi, e il coefficiente è dell'ordine $p \backsim p'$ nelle eccentricità e nelle inclinazioni. Ora se, p e p' sono tali che $n\ p$

e Saturno girano intorno al Sole circa in 4333 giorni e in 10759 giorni rispettivamente; cinque volte il primo numero è 21665 e due volte il secondo è 21518, che è di pochissimo minore, onde si presenta il caso eccezionale; e nel trattarlo Laplace trovò una disuguaglianza apprezzabile in un periodo di 900 anni, che spiegava soddisfacentemente le osservazioni.

Le ineguaglianze di questa specie, delle quali altre sono state scoperte, sono conosciute sotto il nome di *lunghe ineguaglianze,* e si possono considerare come anelli di congiunzione fra le disuguaglianze secolari e le disuguaglianze periodiche ordinarie.

244. La scoperta che la ineguaglianza osservata di Giove e di Saturno non era secolare, può riguardarsi come il primo passo in una serie notevole di investigazioni sulle ineguaglianze secolari, fatte da Lagrange e da Laplace, più che altro fra il 1773 ed il 1784, che condusse ai più generali ed interessanti risultati di tutta l'Astronomia gravitazionale. I due astronomi, quantunque vivessero rispettivamente a Berlino e a Parigi, erano in continua corrispondenza, e si può dire che non un passo importante era fatto dall'uno, senza che l'altro non l'avesse sviluppato e utilizzato.

Il problema principale era quello dei cambiamenti secolari negli elementi di una orbita d'un pianeta, riguardata come una ellisse variabile. Tre di questi elementi, l'asse dell'ellisse, la sua eccentricità e l'inclinazione del suo

---

$\backsim n' p'$ è piccolo, la corrispondente ineguaglianza ha un periodo $2n\,(n p \backsim n' p')$, e quantunque il suo coefficiente sia dell'ordine $p \backsim p'$, ha il piccolo fattore $n p \backsim n' p'$ (o il suo quadrato) al denominatore e può l'ineguaglianza essere perciò considerevole. Nel caso di Giove e di Saturno, p. es., $n = 109257$ in secondi di arco per anno, $n' = 43996$; $5n' - 2n = 1466$, vi è perciò una ineguaglianza di *terz*'ordine con un periodo (in anni) $= \frac{360^\circ}{1466''} = 900$.

piano rispetto ad un piano fisso (per solito l'eclittica) sono di molto maggiore importanza degli altri tre. I primi due sono gli elementi dai quali dipende la grandezza e la forma dell'orbita, e il primo determina anche (secondo la terza legge di Keplero) il periodo di rivoluzione e la velocità media del pianeta (1), il terzo ha la sua influenza importante sulle vicendevoli relazioni dei due pianeti. Gli altri tre elementi sono principalmente importanti per le ineguaglianze periodiche.

Sarebbe da osservarsi, oltre a ciò, che le eccentricità e le inclinazioni erano in tutti i casi (eccetto quelli specialmente menzionati) considerate come piccole quantità; e così tutte le ricerche erano approssimative, poichè queste quantità e le stesse forze disturbatrici erano considerate come abbastanza piccole.

245. La base dell'intera serie di investigazioni fu un lungo lavoro pubblicato da Lagrange nel 1766, nel quale egli spiegava il metodo della variazione degli elementi e dava formule che collegavano i valori dei loro cambiamenti con le forze disturbatrici.

Nella sua Memoria del 1773 Laplace trovò che ciò che era vero nel caso di Giove e di Saturno aveva una applicazione più generale, e provava che, nel caso di un pianeta qualunque, disturbato da un altro, l'asse non solo non presentava nessun cambiamento secolare nel momento presente, ma non poteva aver subíto alcun apprezzabile cambiamento " fin dal tempo che si cominciò a coltivare l'Astronomia ". L'anno dopo Lagrange trovò una espressione per esprimere il cambiamento secolare della inclinazione, *valida per tutti i tempi*. Allorquando questa fu applicata al caso di Giove e di Saturno, i quali, in grazia della loro preminenza, sia

---

(1) Questa esposizione merita qualche restrizione, quando vogliamo tener conto delle perturbazioni. Ma questo punto non è importantissimo, ed è troppo tecnico per esser discusso.

per la grandezza che per la gran distanza dagli altri pianeti, si possono benissimo riguardare come formanti col Sole un sistema separato, si vide che i cambiamenti nelle inclinazioni erano sempre di natura periodica, così che essi cadevano dentro certi limiti fissi, che non differivano molto dai valori esistenti, ed un risultato simile valeva per il sistema formato dal Sole, da Venere, dalla Terra e da Marte. Lagrange osservò parimente che vi erano casi, i quali, come egli diceva, fortunatamente non sembravano esistere nel sistema del mondo, nel quale invece le inclinazioni potrebbero crescere indefinitivamente. La differenza dipendeva dalle masse dei corpi in questione; e benchè i valori attribuiti a tutte le masse planetarie fossero alquanto incerti e che quelli presunti da Lagrange per Venere e Marte quasi totalmente congetturali, tuttavia non sembrava che alcuna variazione, degna di nota nella determinazione delle masse, cambierebbe per nulla la conclusione generale alla quale si era arrivati.

Due anni più tardi (1775), Laplace, colpito dal metodo usato da Lagrange, lo applicò allo studio delle variazioni secolari dell'eccentricità; e trovò che anche queste erano di natura periodica, così che neppure la eccentricità poteva crescere o diminuire indefinitivamente.

L'anno successivo Lagrange, in una pregevole Nota di sole 14 pagine, dimostrò che se le eccentricità e le inclinazioni erano considerate abbastanza piccole o no, e qualunque potessero essere le masse dei pianeti, i cambiamenti nella lunghezza dell'asse di una orbita planetaria qualunque erano necessariamente tutti periodici, così che, per tutti i tempi, la lunghezza dell'asse poteva variare soltanto fra certi limiti definiti. Questo risultato era però ancora fondato sulla ipotesi che le forze disturbatrici potessero essere riguardate abbastanza piccole.

Apparve dipoi una serie di cinque Note, pubblicate fra il 1781 e il 1784, nelle quali Lagrange riassumeva il

suo primo lavoro, rivedeva e migliorava i suoi metodi e li applicava alle ineguaglianze periodiche e a diversi altri problemi.

Finalmente, nel 1784, Laplace, nella stessa maniera nella quale spiegò la lunga ineguaglianza di Giove e di Saturno, stabilì, mediante un metodo assai semplice, due notevoli relazioni fra le eccentricità e le inclinazioni dei pianeti o di qualunque altra categoria di corpi.

La prima relazione è:

Se la massa di ogni pianeta si moltiplica per la radice quadrata dell'asse della sua orbita e per il quadrato dell'eccentricità, la somma di questi prodotti è invariabile per tutti i pianeti, eccetto le ineguaglianze periodiche.

La seconda è precisamente analoga, salvo che l'eccentricità è sostituita dall'inclinazione (1).

La prima di queste proposizioni stabilisce l'esistenza di ciò che può essere chiamato una certa quantità o fondo di eccentricità distribuita fra i pianeti del sistema solare. Se l'eccentricità di un'orbita qualunque cresce, quella di qualche altra orbita deve subire una diminuzione corrispondente, così quella certa riserva non può essere variata. Oltre a ciò l'osservazione dimostra che l'eccentricità di tutte le orbite planetarie sono piccole; di conseguenza l'intera così detta riserva è piccola e il riparto in ogni tempo fra i pianeti deve essere pur piccolo (2). Per conseguenza, l'ec-

---

(1) $\Sigma\, e^2 m \sqrt{a} = c$, $\Sigma\, tan^2 i\, m \sqrt{a} = c'$, dove m è la massa di un pianeta qualunque, a, e, i sono il semi-asse maggiore, l'eccentricità e l'inclinazione dell'orbita. L'equazione è vera fino ai quadrati delle piccole quantità, e perciò è lo stesso se o no $tan\, i$ è sostituita come nel testo da i.

(2) Quasi il totale della «riserva di eccentricità» e della «riserva dell'inclinazione» del sistema solare è distribuita fra Giove e Saturno. Se Giove assorbisse tutta la riserva di ognuno dei pianeti, l'eccentricità della sua orbita crescerebbe soltanto di circa il 15 per cento, e l'inclinazione sull'eclittica non sarebbe raddoppiata.

centricità dell'orbita di un pianeta, la massa e la distanza del quale dal Sole sono considerevoli, non può mai crescere molto, ed una conclusione analoga si può ammettere per l'inclinazione delle varie orbite.

Una notevole caratteristica del sistema solare è presupposta in queste due proposizioni, cioè che tutti i pianeti girano intorno al Sole nella stessa direzione, la quale ad un osservatore, che fosse dalla parte settentrionale del l'orbita, apparirebbe l'opposto del movimento delle lancette dell'orologio. Se un pianeta qualunque si movesse nella direzione opposta, le parti corrispondenti di quelle certe quantità o riserve dell'eccentricità e dell'inclinazione dovrebbero essere sottratte invece che sommate; e allora nulla potrebbe impedire il variare di esse.

Una restrizione quasi simile comprende i primitivi risultati di Laplace riguardo alla impossibilità dei cambiamenti permanenti nelle eccentricità, quantunque potrebbe esistere un sistema nel quale il suo risultato dovrebbe ancora essere vero, se uno o parecchi dei suoi componenti ruotassero in direzioni diverse dagli altri; ma in questo caso esisterebbero certe restrizioni nelle proporzioni delle orbite, non richieste nell'altro caso.

Per dirla brevemente, i risultati stabiliti dai due astronomi consistevano in ciò che i cambiamenti nell'asse, nella eccentricità e nell'inclinazione di una orbita planetaria qualunque, sono tutti permanentemente compresi entro certi limiti definiti. Le perturbazioni prodotte dai pianeti fanno sì che queste quantità subiscono variazioni di grandezza limitata, alcune delle quali, causate dalle forze disturbatrici periodiche, vanno soggette a cambiamenti in periodi di tempo relativamente corti, mentre le altre, dovute a perturbazioni secolari, richiedono per il loro compimento lunghi intervalli di tempo. Si può dunque dire che la stabilità del sistema solare rimaneva assicurata almeno per

quanto riguarda le cause particolari astronomiche prese in considerazione.

Oltre a ciò, se consideriamo il caso della Terra, come un pianeta abitato, un cambiamento qualsiasi dell'asse, cioè nella distanza media dal Sole, produrrebbe un cambiamento più che proporzionale ad esso nelle quantità del calore e della luce ricevuta dal Sole; un aumento qualunque della eccentricità aumenterebbe grandemente quella parte (presentemente molto piccola) delle nostre variazioni di stagione di caldo e di freddo, che sono dovute alle varie distanze dal Sole; mentre che qualunque cambiamento di posizione dell'eclittica, che non fosse accompagnato da un corrispondente cambiamento dell' Equatore, ed avesse per effetto di aumentare l'angolo fra i due piani, aumenterebbe grandemente le variazioni di temperatura nel corso dell'anno. La stabilità che si è dimostrato che esiste, è perciò una garanzia contro certi grandi cambiamenti di clima, che certamente non mancherebbero di danneggiare seriamente gli abitanti della Terra.

È forse assai opportuno osservare che i risultati stabiliti da Lagrange e da Laplace erano conseguenze matematiche ottenute con processi, nei quali si dovevano trascurare certe piccole quantità, e perciò essi non erano perfettamente rigorosi ed implicavano certe ipotesi definite, con le quali le effettive condizioni del sistema solare hanno una somiglianza abbastanza stretta. All'infuori di cause imprevedibili, non è cosa affatto fuor di luogo l'aspettarsi che, per un periodo di tempo assai lungo, i moti dei corpi attuali, che formano il sistema solare, possano quasi perfettamente andar d'accordo con questi risultati: ma non ci sono ragioni valide del perchè certe cause disturbatrici, ignorate o non accettate da Laplace e da Lagrange per ragione della loro nessuna importanza, non possano un giorno o l'altro produrre effetti apprezzabili (cfr. Cap. XIII, § 293).

246. Parecchi risultati numerici di Laplace, in riguardo

alle variazioni secolari degli elementi, possono servire a dare una idea delle grandezze trattate.

La linea degli apsidi di ogni pianeta si muove nella medesima direzione; il moto più rapido che si scorga in Saturno sale circa a 15″ per anno, o un po' meno di un mezzo grado per secolo. Se questo movimento continuasse uniformemente, la linea degli apsidi richiederebbe non meno di 80,000 anni per compire un giro e ritornare nella sua posizione primitiva. Il movimento della linea dei nodi (o la linea nella quale il piano dell'orbita dei pianeti incontra quello dell'eclittica) fu trovato in generale che era piuttosto più rapido. La variazione annua nell'inclinazione di una orbita qualunque sull'eclittica, in nessun caso eccede una frazione di secondo; mentre il cambiamento di eccentricità nell' orbita di Saturno, che era considerevolmente il più grande, ammonterebbe soltanto, anche se continuato per quattro secoli, a $\frac{1}{1000}$.

247. La teoria delle disuguaglianze secolari è stata studiata lungamente a cagione della natura generale dei risultati ottenuti. Per lo scopo di predire le posizioni dei pianeti a certe brevi distanze di tempo, le ineguaglianze periodiche sono per altro di maggiore importanza. Queste furono studiate ampiamente tanto da Lagrange quanto da Laplace; il lavoro particolareggiato, compiuto in una forma adattabile ai calcoli numerici, si deve più che altro a quest'ultimo. Mediante le formule, date da Laplace e riunite nella *Mécanique céleste*, furono calcolate varie serie di tavole solari e planetarie, che in generale si trovarono esattamente in accordo con i movimenti osservati, e superarono le tavole precedenti, basate sopra teorie meno perfette (1).

---

(1) Fra le tavole basate sul lavoro di LAPLACE e pubblicate verso l'epoca della sua morte, le principali riguardanti il Sole furono quelle di VON ZACH (1804) e di DELAMBRE (1806) e quelle

248. Oltre alle teorie lunari e planetarie, quasi tutti i minori problemi dell'Astronomia gravitazionale furono studiati di nuovo da Laplace, in molti casi mediante metodi dovuti a Lagrange, e la loro soluzione fu in ogni modo anticipata.

La teoria dei satelliti di Giove, che, insieme con Giove, formava, dirò così, un sistema solare in miniatura, ma con particolarità caratteristiche, fu ampiamente trattata; gli altri satelliti furono studiati meno ampiamente. Fu fatto anche qualche progresso intorno alla teoria dell'anello di Saturno, dimostrando che non poteva essere un corpo solido uniforme.

La precessione e nutazione furono molto più ampiamente trattate che dal D'Alembert; e i problemi affini sulle irregolarità della rotazione della Luna e dell'anello di Saturno furono pure studiati.

La figura della Terra fu considerata in un modo assai più generale che non facesse Clairaut, senza però infirmare la esattezza sostanziale delle sue conclusioni; e la teoria delle maree fu interamente ricostruita e fatta molto progredire, quantunque sia rimasta ancora fra la teoria e la osservazione una considerevole lacuna.

La teoria delle perturbazioni fu anche essa modificata così da essere applicabile alle comete, e dall'osservazione di una cometa (conosciuta per la cometa di Lexell) e che era comparsa nel 1770, si verificò che era passata vicino a Giove nel 1767; fu rilevato che la sua orbita era stata completamente cambiata dall'attrazione di Giove, ma che, d'altra parte, essa stessa non poteva esercitare nessuna influenza disturbatrice nè su Giove, nè sopra i suoi satelliti.

---

principali planetarie furono quelle di LALANDE (1771), di LINDENAU per Venere, Marte e Mercurio (1810-13) e di BOUVARD per Giove, Saturno e Urano (1808-1821).

Mentre il completo calcolo delle perturbazioni dei varî corpi del sistema solare presuppone la conoscenza delle loro masse, reciprocamente, se la grandezza di queste perturbazioni può ottenersi dalla osservazione, essa può essere adoperata per determinare o correggere i valori delle diverse masse. In questo modo le masse dei satelliti di Marte e di Giove, nonchè di Venere (§ 235), furono calcolate; e quella della Luna e degli altri pianeti furono calcolate di nuovo. Nel caso di Mercurio, non fu osservata nessuna perturbazione prodotta da esso sopra nessun pianeta, e per lungo tempo solo qualche congettura si potè fare sulla massa di Mercurio, sapendo peraltro che certamente era piccola. Qualche anno dopo la morte di Laplace, l'effetto prodotto da esso sopra una cometa fornì il mezzo di determinare la sua massa (1842); ma anche oggi questo valore è molto incerto.

249. Dall'opera dei grandi astronomi matematici del secolo XVIII, i cui risultati furono riassunti nella *Mécanique céleste,* si rilevò che era possibile spiegarsi i movimenti dei corpi del sistema solare mediante la legge di gravitazione.

Il problema di Newton (§ 228) rimaneva così approssimativamente risoluto, e l'accordo fra la teoria e l'osservazione era, nella maggior parte dei casi, abbastanza esatto per l'uso pratico a poter predire, per un tempo discretamente lungo, le posizioni dei vari corpi celesti. Le differenze ancora esistenti fra la teoria e l'osservazione erano per lo più così piccole, paragonate a quelle che erano state rimosse, da lasciare universalmente la convinzione che era ancora possibile di spiegarle supponendo che esse fossero dovute ad errori di osservazione, a mancanza di esattezza nel calcolo, o a qualche altra causa simile.

250. All'infuori del campo astronomico e matematico, Laplace è meglio noto, non come autore della *Mécanique céleste,* ma come inventore della *Ipotesi Nebulare.* Questo classico studio fu pubblicato (1796) nel suo libro popolare il *Système du Monde,* che abbiamo menzionato; esso fu

quasi certamente indipendente da una teoria consimile, ma meno particolareggiata, suggerita dal filosofo *Emanuele Kant* nel 1755.

Laplace fu colpito da certe notevoli particolarità del sistema solare. I sette pianeti da lui conosciuti girano intorno al Sole nella stessa direzione, i quattordici satelliti si avvolgono intorno ai primi, ancora nella stessa direzione (1), e i moti di rotazione del Sole, dei pianeti e dei satelliti intorno ai loro assi, come si sapeva bene, seguivano la stessa direzione. Ora, se noi riguardiamo questi movimenti dei diversi astri come un risultato del caso e come indipendenti uno dall'altro, questa uniformità costituirebbe una coincidenza di carattere straordinarissimo, come se una moneta lanciata per aria ricadesse sempre con una faccia rivolta dalla stessa parte.

Questi movimenti di rotazione e di rivoluzione si compiono inoltre tutti in piani leggermente inclinati gli uni sugli altri, e le eccentricità di tutte le orbite cono piccolissime così da renderle quasi circolari.

Le comete, peraltro, non presentano nessuna di queste particolarità; le loro orbite sono molto eccentriche: esse formano tutti gli angoli possibili con l'eclittica, e si muovono in ogni direzione.

Di più non si conosceva nessun corpo che formasse l'anello di congiunzione sotto questo rispetto fra le comete e i pianeti o i satelliti (2).

---

(1) Il movimento dei satelliti di Urano (Cap. XII, § § 253, 255) si compie nella direzione opposta. Quando LAPLACE scrisse la sua teoria, ancora il loro movimento non si conosceva e non sembra, dalle ultime edizioni del suo libro, che abbia giudicata l'eccezione degna di essere menzionata.

(2) Tutto ciò deve essere modificato in conseguenza della scoperta dei minori pianeti, che cominciò il 1º gennaio 1801 (Cap. XIII, § 294), molti dei quali hanno orbite che sono assai più eccentriche di quelle degli altri pianeti, e fanno con l'eclittica angoli assai pronunziati.

Da queste notevoli coincidenze, Laplace dedusse che i varî corpi del sistema solare devono avere avuta una medesima origine. La ipotesi da lui suggerita consisteva in questo: che essi erano stati formati dalla condensazione di un corpo, che poteva essere riguardato o come il Sole con una vasta atmosfera, che riempiva tutto il grande spazio ora occupato dal sistema solare, o come una massa fluida con una parte centrale o nucleo più o meno condensata; tale condensazione nel suo primo stadio deve essere considerata come quasi nulla.

Le osservazioni di Herschel (Cap. XII, §§ 259-61) hanno rivelato recentemente l'esistenza di molte centinaia di corpi conosciuti come nebulose, che presentano le stesse apparenze, che avrebbe avuto il primitivo corpo considerato da Laplace. Le diversità in struttura, che essi dimostravano, alcuni come masse informi di una sostanza estremamente diffusa, altri coi segni manifesti di condensazione centrale, e altri finalmente come stelle ordinarie, ma aventi intorno una leggera atmosfera diffusa, erano certamente segni suggestivi di qualche processo di condensazione.

L'ipotesi di Laplace fu dunque che il sistema solare fosse stato formato da condensazioni di una nebulosa; e una spiegazione simile poteva applicarsi alle stelle fisse, coi pianeti (se ve ne erano) che le circondano.

Egli dunque abbozzò, in modo alquanto immaginoso, il processo col quale una nebulosa, dotata di movimento rotatorio, andando a mano a mano condensandosi, poteva scindersi in una serie di anelli, i quali, alla loro volta condensandosi, si cambiavano in pianeti con o senza satelliti; e dava con questa ipotesi ragioni plausibili delle tante singolarità del sistema solare.

Si conosce così poco però il processo con cui un corpo, come la nebulosa di Laplace, si condensa ruotando, che non vale la pena di considerare i particolari del suo sistema.

Che lo stesso Laplace, che non è stato mai accusato

di deprezzare l'importanza delle sue scoperte, non prendesse i particolari della sua ipotesi sul serio come la presero i suoi espositori, può essere rilevato dal fatto, che egli la pubblicò solo in un libro popolare, e dalla notevole sua frase che segue:

" Queste congetture sulla formazione delle Stelle e del sistema solare io le presento con tutta la esitanza e la sfiducia che tutto ciò, che non risulta da osservazione e da calcolo, deve ispirare " (1).

---

(1) *Système du Monde*, lib. V, cap. VI.

CAPITOLO XII.

Herschel.

Coelorum perrupit claustra.
Epitaffio di HERSCHEL.

251. *Federigo Guglielmo Herschel* nacque ad Hannover il 15 novembre 1738, due anni dopo Lagrange e nove anni prima di Laplace. Suo padre era musicista nell' esercito hannoverese, e il figlio, che dimostrò un gusto pronunziato per la musica, nonchè un' attitudine speciale per il sapere in genere, assunse da ragazzo la professione di suo padre. Allo scoppiare della guerra dei Sett' Anni, prestò servizio militare durante parte di una campagna; ma la sua salute delicata " decise i suoi genitori a toglierlo dal servizio militare; cosa che presentò non poche difficoltà! ", e fu mandato in Inghilterra (1757) a cercar fortuna come musicista.

Dopo parecchi anni spesi girando diverse parti del paese, partì per Bath (1766), allora uno dei più grandi centri di ritrovo in Inghilterra. Da principio fu suonatore d' oboè nell'orchestra di Linley, poi fu organista nella Cappella Ottagona, presto salì ad un posto elevato sia come musicista che come insegnante di musica. Suonava, accompagnava e componeva, e i suoi scolari privati crebbero così rapidamente, che è giunto a dare fino a trentacinque lezioni per settimana. Ma tale attività non esauriva la sua energia, nè gli faceva perdere l'inclinazione allo studio;

e, secondo le parole di un biografo contemporaneo, “ dopo aver passato 14 o 16 ore nel compiere i suoi doveri professionali, la notte si ritirava con grandissima avidità di *ricreare la mente*, se si può dir così, leggendo parecchie proposizioni delle flussioni di Maclaurin, o di altri libri dello stesso genere. Gli studi musicali gli avevano da gran tempo fatto nascere l'interessamento per le Matematiche, ed è probabile che lo studio dell'*Armonia* di Roberto Smith lo conducesse alla lettura del *Completo sistema di ottica* dello stesso autore e da quello alla costruzione e all'uso dei telescopi. L'Astronomia, che egli presto coltivò, gli fece nascere il desiderio di verificare da sè ciò che i libri descrivevano: dapprincipio prese a nolo un piccolo telescopio a riflessione, poi ebbe in animo di comprare uno strumento più grande, ma il costo troppo alto di esso non glielo permise. Così fu condotto gradatamente a costruire da sè stesso i suoi propri telescopi (1773). Suo fratello Alessandro, il quale aveva trovato da occuparsi in materia musicale a Bath, e che sembra abbia avute attitudini speciali per la meccanica, ma non la perseveranza di Guglielmo, lo aiutò in quella impresa, e la sua affezionata sorella Carolina (1750-1848), che era stata condotta da Guglielmo in Inghilterra nel 1772, non soltanto tenne il governo della sua casa, ma gli rese un'infinità di minori servigi. L'operazione di arrotare e tirare a pulimento lo specchio del telescopio era lavoro della più gran delicatezza, e ad un certo punto richiedeva un lavoro assiduo di parecchie ore. Una volta la mano di Herschel non abbandonò l'ordegno da pulimento per 16 ore, così che “ per tenerlo in vita ” Carolina dovè “ imboccarlo ”; e in altre occasioni meno critiche, per rendergli meno tediosa l'operazione gli leggeva ad alta voce; sentiamo con somma compiacenza che in questi casi i libri che leggeva non erano nè di Matematiche, nè di Ottica, nè di Astronomia, ma erano il *Don Chisciotte*, le *Mille e una notte*, e le *Novelle* di Sterne e di Fielding.

252. Dopo non si sa quanti insuccessi, finalmente Herschel riuscì a costruire un telescopio riflettore abbastanza buono, presto seguìto da altri più perfetti e più grandi, e con questo fece la prima osservazione, già ricordata, sopra la nebulosa di Orione nel marzo 1774.

Questa osservazione, da lui fatta all'età di 36 anni, si può dire che segni il principio della sua carriera astronomica, quantunque per parecchi anni ancora la sua professione fosse la musica, e l'Astronomia non occupasse che le ore d'ozio che si prendeva da sè: i suoi biografi fanno una viva descrizione della sua straordinaria attività in questo periodo di vita, e del suo zelo per utilizzare qualunque minimo ritaglio di tempo, come, per esempio, gli intervalli fra gli atti di una rappresentazione teatrale, per dedicarsi ai suoi cari telescopi.

Una lettera scritta da lui nel 1783 dà perfettamente conto dell'ardore con cui mandava innanzi il suo lavoro astronomico.

“ Io mi decisi a non accettar nulla sulla fede altrui, ma di vedere coi miei propri occhi ciò che gli altri avevano veduto prima di me... Completai felicemente il così detto strumento newtoniano lungo 7 piedi, poi lo portai a 10 piedi e finalmente a 20 piedi, perchè mi ero fitto in mente di sempre più migliorare i miei telescopi per quanto era possibile. Quando ebbi con ogni possibile cura perfezionato il grande strumento in tutte le sue parti, ne feci uso sistematicamente per le osservazioni celesti, facendomi innanzi tutto uno stretto dovere di non mai passar sopra a nessuna parte di esse, fosse anche la più piccola, senza la dovuta investigazione. „

Secondo quest'ultima risoluzione, egli eseguì in quattro occasioni separate, cominciando dal 1775, ogni volta con uno strumento di maggior potenza del precedente, un esame di tutto il cielo, nel quale, qualunque cosa apparisse degna di considerazione, era osservata attentamente; e,

se era il caso, studiata più diligentemente, applicando in tal modo all'Astronomia il sistema, che tiene il naturalista, che ha per iscopo di fare un elenco ordinato e completo della flora e della fauna di un paese fin qui poco conosciuto.

253. Durante la seconda di queste revisioni del cielo, fatta con un telescopio del tipo Newtoniano, di 7 piedi di lunghezza, fece quella scoperta (13 marzo 1781), che gli diede fama europea, e dopo la quale potè definitivamente abbandonare la professione della musica e dedicarsi con tutte le sue forze alla scienza.

“ Esaminando le piccole stelle nella vicinanza di *H Geminorum* ne scòrsi una che sembrava visibilmente più ampia delle altre; colpito dalla sua apparenza affatto dissimile dalle altre, la paragonai con *H Geminorum* e con la piccola stella nel quartile fra *Auriga* e *Gemini*, e trovandola molto più ampia di esse, sospettai che fosse una cometa. „

Se Herschel fosse stato nel vero, la sua scoperta sarebbe stata di molto minore importanza di quel che non sia stata in verità, poichè allorquando il nuovo astro fu osservato e fu tentato di calcolare la sua orbita, si trovò che nessuna comune orbita cometaria in alcun modo rappresentava il suo movimento, e fra tre o quattro mesi dalla sua scoperta fu riconosciuto — prima da *Anders Johann Lexell* (1740-1784) — non esser il nuovo astro una cometa, ma un nuovo pianeta che si avvolgeva intorno al Sole in una orbita quasi circolare, ad una distanza circa 19 volte quella della Terra e due volte quella di Saturno (1).

Nessun nuovo pianeta era stato scoperto sino dai tempi storici, così che il fatto di Herschel era assolutamente unico; perfino la scoperta dei satelliti, inaugurata da Galileo (Capitolo VI, § 121), aveva segnato una sosta quasi un secolo

(1) Devesi a M. Saron la prima idea e il primo calcolo d'un'orbita circolare d'Urano. (*N. d. Tr.*)

prima (1684), quando il Cassini ebbe rivelato la seconda coppia dei satelliti di Saturno (Cap. VIII, § 160). Herschel desiderava esercitare il suo diritto di scopritore, battezzando il nuovo pianeta con il nome del suo reale patrono *Georgium Sidus;* ma, quantunque il nome fosse usato per qualche tempo in Inghilterra, gli astronomi continentali non vollero mai adoprarlo; e, dopo tentativi infruttuosi per chiamarlo Herschel, fu deciso dare ad esso un nome simile a quello degli altri pianeti, e il nome di Urano fu proposto e accettato.

Benchè prima di quel tempo Herschel avesse pubblicato due o tre Memorie e fosse abbastanza conosciuto nei circoli scientifici inglesi, la completa oscurità fra gli astronomi continentali dell'autore di questa memorabile scoperta è curiosamente illustrata da una discussione in un giornale che tratta di Astronomia (*Astronomisches Jahrbuch* di Bode), intorno al modo di scriverne e pronunziarne il suo nome; Hertschel fu forse la migliore e Mersthel la peggiore delle diverse interpretazioni.

254. L'oscurità di Herschel naturalmente ebbe termine con la scoperta di Urano; eminenti visitatori a Bath, fra i quali l'astronomo reale Maskelyne (Cap. X, § 219), ricercarono la sua amicizia; prima della fine dell'anno fu creato membro della Società Reale, e ne ricevè la medaglia, e nella primavera seguente fu chiamato a Corte, per mostrare lui stesso a Giorgio III ed agli altri componenti la famiglia reale, i suoi telescopi e la sua stella. In conseguenza di questa visita egli ricevette dal Re un emolumento come astronomo reale di L. st. 200 all'anno.

Con questa nomina la sua carriera di musicista finisce, e nell'agosto del 1782 suo fratello e sua sorella lasciarono per sempre Bath e si stabilirono: prima, in una casa mezzo rovinata di Datchet, poi, alquanti mesi dopo (1785-6), passarono a Clay Hall in Old Windsor, a Slough in una casa chiamata dipoi la " Casa Osservatorio, " e memorabile per

le parole di Arago: “ le lieu du monde, où il a été fait le plus de découvertes „.

255. Il modesto stipendio di Herschel, quantunque sufficiente per i suoi bisogni e per quelli di sua sorella, era certamente ben magro per le spese che richiedevano il fabbricare e il montare i telescopi. L'abilità da lui acquistata in quell'arte era tale che i suoi telescopi erano di gran lunga superiori a molti altri che pure avevano i loro pregi; e siccome il metodo di fabbricarli era tutto suo speciale, così ebbe parecchie commissioni per strumenti fatti da lui. Perfino nel tempo che stette a Bath ne fece e ne vendè molti, e durante gli anni che dimorò nelle vicinanze di Windsor, quest'arte fu sorgente per lui di una rendita non indifferente, quando si pensi che fra i clienti contava la famiglia reale, e molti pregiati astronomi stranieri.

La necessità di impiegare il suo prezioso tempo in questo modo, fortunatamente ebbe fine nel 1788, quando sposò una ricca signora; Carolina visse d'allora in poi in un alloggio vicino al fratello, ma lavorò sempre per lui con uno zelo che non venne mai meno.

Verso la fine del 1783 Herschel portò a compimento un telescopio lungo 20 piedi con uno *specchio grande* di 18 pollici di diametro, col quale strumento fece la maggior parte dei suoi più pregevoli lavori; ma non fu contento finchè non ebbe raggiunto il limite del possibile. L'ultimo inverno, che passò a Bath, egli e suo fratello spesero molto lavoro in un tentativo, che andò fallito, di fabbricare un telescopio di 30 piedi; la scoperta di Urano e le sue conseguenze gli impedirono di rinnovare il tentativo per qualche tempo; ma nel 1785 cominciò un telescopio di 40 piedi con uno specchio di 4 piedi di diametro, le spese del quale furono sopportate, con grazia speciale, dal Re. Mentre stava costruendolo, Herschel provò una nuova foggia di costruzione di telescopi riflettori, suggerita da Lemaire nel 1732, ma non mai adoperata, per mezzo dei quali si otteneva un

considerevole aumento di splendore, ma a scapito della definizione dell'immagine. Questa costruzione Herscheliana o *Front-view,* come è chiamata, fu prima provata col tele-

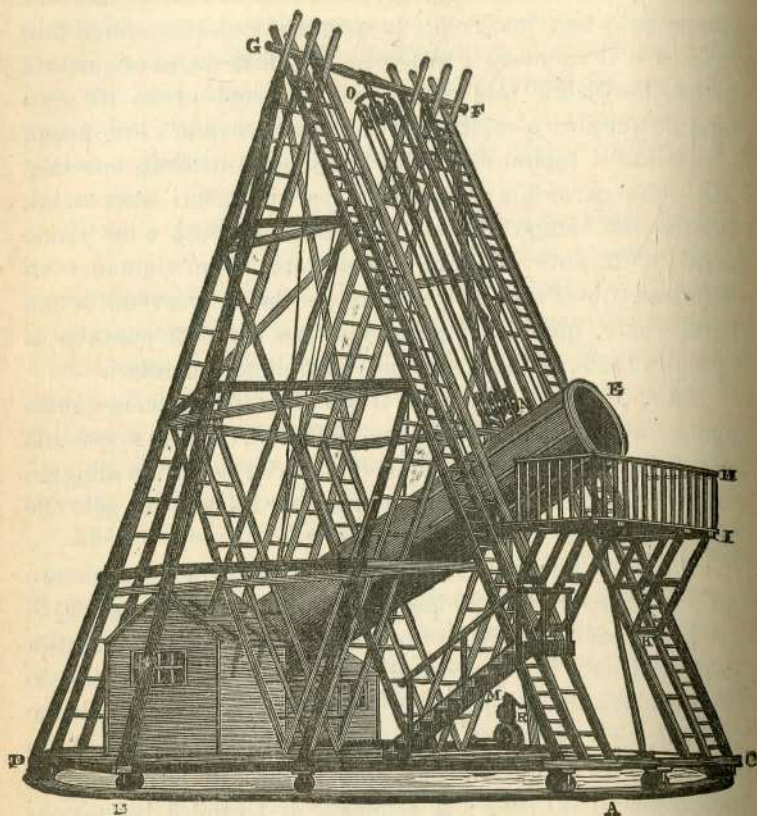



Fig. 82. — *Il telescopio di 40 piedi di* Herschel.

scopio di 20 piedi e condusse alla scoperta (11 gennaio 1787) di due satelliti di Urano, *Oberon* e *Titania;* e fu, dopo di ciò, il *front-view-telescopio* adoperato regolarmente. Dopo varî insuccessi, finalmente fu costruito il telescopio di 40 piedi (fig. 82). La prima sera che fu adoperato (28 agosto 1789)

fu scoperto un sesto satellite di Saturno (*Enceladus*) e il 17 settembre un settimo satellite molto più debole (*Mimas*). Ambedue furono trovati molto più vicini al pianeta che gli altri cinque precedentemente scoperti, il più vicino dei due era Mimas (cfr. fig. 91).

Benchè per la scoperta di oggetti estremamente deboli, come questi satelliti, il gran telescopio fosse incomparabile, per molti altri lavori e nelle sere molto serene uno strumento più piccolo era buono del pari, e per essere più maneggevole era anche più usato. Lo specchio del gran telescopio andò con il tempo deteriorandosi e dopo il 1811 la mano di Herschel non rispondeva più alla delicatezza voluta per il pulimento dei suoi specchi, e il telescopio fu abbandonato; però fu lasciato ancora montato fino al 1839, quando fu smontato del tutto e riposto.

256. Dal tempo della sua dimora a Slough fino al momento che perdette le forze a causa della grave età, la storia della vita di Herschel non è che un ricordo dei lavori da lui compiuti. Era suo costume l'impiegare l'intera notte, quando il tempo lo consentiva, in osservazioni; il giorno lo impiegava a interpretare le sue osservazioni, ed a scrivere le Note, che dovevano contenere i risultati. Sua sorella gli era quasi sempre vicina, come suo aiutante, durante le osservazioni; come pure fece per lui molta parte di cataloghi, indici od altri simili lavori. Dopo aver lasciato Bath, fece anche essa parecchie osservazioni per proprio conto, benchè soltanto quando suo fratello era assente, o non richiedeva la sua assistenza; essa specialmente si era data alla ricerca delle comete e ne scoprì non meno di otto. Per avere una idea del disagio e, si può dire, anche del pericolo cui erano esposti gli osservatori la notte, bisogna sapere che i grandi telescopi adoperati erano montati all'aria aperta e che tanto nei riflettori Newtoniani quanto in quelli Herscheliani, l'osservatore doveva portarsi vicino alla parte superiore del telescopio, e perciò ad una altezza

non indifferente da terra. Nel telescopio di 40 piedi vi erano delle scale alte 50 piedi che conducevano alla piattaforma, sulla quale era collocato l'osservatore. Inoltre, per speciali ricerche, non si potevano fare osservazioni soddisfacenti, nè al lume di luna, nè a nessuna luce artificiale. Dunque non bisogna meravigliarsi che i diari di Carolina Herschel contengano, in queste occasioni, molte espressioni di ansietà per la salvezza del fratello; ed è cosa meravigliosa che sieno accaduti pochi accidenti.

Oltre il lavoro suo, Herschel aveva da ricevere una moltitudine di visitatori, attirati a Slough, non solo dall'interessamento scientifico destato dalla conoscenza di tal uomo, ma anche dalla curiosità di vedere questo mirabile telescopio. Nel 1801 andò a Parigi, dove conobbe Laplace e vide anche Napoleone, le cui cognizioni astronomiche giudicò assai inferiori a quelle di Giorgio III, " mentre, con l'aria che si dava generalmente, affettava molta più scienza di quella che avesse ".

Nella primavera del 1807 ebbe una gran malattia; e d'allora in poi rimase di cagionevole salute; e la più gran parte del suo tempo dovette dedicarla a lavori di tavolino. L'ultima della gran serie delle sue Memorie, presentate alla Società Reale, fu pubblicata nel 1818, quando aveva egli quasi 80 anni, benchè tre anni dopo egli comunicasse alla Società Reale d'Astronomia, recentemente fondata, un elenco delle stelle doppie. Quasi contemporaneamente egli aveva fatto la sua ultima osservazione, e circa un anno dopo morì, ai 21 d'agosto 1822, all'età di 84 anni. Lasciò un unico figlio, Giovanni, che si dedicò egli pure all'Astronomia, segnalandosi però meno di suo padre (Cap. XIII, §§ 306-8). Dopo la morte del diletto fratello, Carolina Herschel tornò ad Hannover, principalmente per esser vicina ad altri parenti suoi; qui eseguì un importante lavoro, compilando in forma conveniente un Catalogo delle nebulose, osservate da suo fratello, e nei ven-

tisei anni, che ancor le rimasero di vita, sembra che il suo principale interessamento sia stato di assecondare la carriera astronomica del nipote Giovanni.

257. Le incidentali allusioni all'opera di Herschel, che sono state fatte descrivendo la sua carriera astronomica, lo mettono principalmente in mostra come costruttore dei giganteschi telescopi, che oltrepassavano, in potenza di penetrazione, tutti quelli costruiti fino allora, e come diligente ed accurato osservatore di tutto quello che era possibile osservare nei cieli. Sole e Luna, pianeti e stelle fisse, tutto egli ha passato in rivista, e i loro diversi caratteri, tutti notati e descritti. Ma questo lavoro semplicemente descrittivo era agli occhi di Herschel un mezzo per arrivare al suo scopo, poichè, come egli disse nel 1811, " la conoscenza della struttura del cielo, è stato sempre il finale oggetto delle mie osservazioni. „

L'Astronomia si è occupata per molti secoli quasi intieramente della posizione dei vari corpi celesti, nella sfera celeste, ossia delle loro direzioni. Copernico ed i suoi successori avevano trovato che i moti apparenti sulla vôlta stellata dei corpi costituenti il sistema solare potevano essere spiegati soddisfacentemente soltanto col mettere in conto i loro attuali moti nello spazio, così che il sistema solare veniva ad essere effettivamente riguardato come composto di corpi a distanze differenti dalla Terra e separati gli uni dagli altri da un gran numero di miglia. Ma il caso era affatto diverso per le stelle fisse; poichè, meno l'eccezione poco importante del movimento proprio di alcune stelle (Cap. X, § 203), tutti i loro movimenti apparenti erano spiegabili come risultati del movimento della Terra, e le vere o le relative distanze delle stelle appena erano considerate. Quantunque la credenza in una vera vôlta celeste, alla quale erano attaccate le stelle, sopravvivesse di poco agli assalti di Tycho Brahe e di Galileo, ed ogni astronomo di reputazione nell'ultima parte del secolo XVII,

o nel secolo XVIII, avesse, se richiesto, senza esitanza dichiarato trovarsi le stelle a distanze differenti dalla Terra, restava però ancora essa mera opinione, che non ebbe nessun effetto apprezzabile nel lavoro astronomico.

La concezione geometrica delle stelle come punti sulla sfera celeste era infatti sufficiente per i fini astronomici; e l'attenzione dei grandi osservatori, come Flamsteed, Bradley e Lacaille, era rivolta specialmente a determinare con la massima precisione le posizioni di questi punti, o all'osservazione dei componenti il sistema solare. Inoltre la sequela di problemi, che suggerì l'opera di Newton, naturalmente richiamò l'attenzione degli astronomi del secolo XVIII sul sistema solare, benchè anche da questo punto di vista la costruzione dei Cataloghi di stelle avesse un considerevole valore, dacchè permetteva di conoscere i punti, che potevano esser presi per fissare le posizioni dei componenti il sistema solare.

La sola eccezione a questa generale tendenza consisteva quasi nel fare ogni sforzo — quantunque senza esito — per trovare le parallassi e quindi le distanze di alcune delle stelle fisse, problema che, benchè originariamente suggerito dalla controversia copernicana, era stato riconosciuto che era intrinsecamente assai interessante.

Herschel dunque battè una via tutta nuova, quando cominciò a studiare il sistema siderale per sè stesso, e le reciproche relazioni dei suoi componenti. Da questo punto di vista, il Sole coi pianeti, che gli fanno corona, diveniva un componente dell'immenso esercito di stelle, al quale si era attribuita una fittizia importanza pel fatto che noi abitiamo uno dei membri del suo sistema.

258. Per avere una completa conoscenza delle posizioni nello spazio delle stelle bisognerebbe naturalmente possedere la misura della parallasse (Cap. VII, § 129 e Cap. X, § 207) di ciascuna di esse. Ma l'insuccesso di un astronomo come Bradley, nell'ottenere la parallasse di una sola stella,

fu sufficiente per mostrare la poca speranza che si aveva dell'impresa; e quantunque Herschel tentasse egli pure di risolvere il problema della parallasse (§ 263), vide che la questione della distribuzione delle stelle nello spazio, se si voleva risolverla, richiedeva qualche metodo più semplice, se anche non tanto sicuro, atto ad essere ampiamente applicato.

In ordine a queste idee, egli immaginò (1784) il suo metodo dello *scandaglio del cielo*. Una osservazione del cielo anche superficiale dimostra che le stelle sono inegualmente distribuite nella sfera celeste; lo stesso si verifica quando son prese in considerazione le stelle più deboli visibili in un telescopio. Paragonando due porzioni di cielo della stessa apparente grandezza angolare, si può trovare che la prima contenga molte più stelle della seconda. Se noi poniamo per vero che le stelle non sieno effettivamente infisse in una sfera, ma che sieno disseminate nello spazio a distanze diverse da noi, ci spiegheremo questa disuguaglianza di distribuzione nel *cielo* o come dovuta a una vera disuguaglianza di distribuzione nello *spazio* o ad una differenza di distanza nelle direzioni, nelle quali giacciono i due insieme di stelle. La prima regione nel cielo può corrispondere ad una regione di spazio, nella quale le stelle sono realmente raccolte insieme, o può rappresentare una direzione, nella quale il sistema siderale si estende ad una più gran distanza, così che l'accumularsi di strati di stelle, giacenti uno dietro l'altro, produce l'apparente densità di distribuzione. Nello stesso modo come quando noi stiamo in un bosco, e che il bosco ci appare meno fitto da una parte che dall'altra, questa disuguaglianza può dipendere o che realmente gli alberi sieno più radi da quella parte o che il limite del bosco è a noi più vicino.

Non avendo una conoscenza nemmeno *a priori* dell'effettivo agglomeramento delle stelle nello spazio, Herschel scelse la prima di queste due ipotesi, cioè egli considerò l'ap-

parente densità delle stelle in una qualsiasi parte del cielo come una misura della profondità, nella quale si estende il sistema siderale in quella direzione, e con questa ipotesi spiegò i risultati di una vasta serie di osservazioni. Adoperò un telescopio di 20 piedi, montato in un modo che si poteva vedere con esso una porzione circolare del cielo di 15′ di diametro (un quarto dell'area del Sole o della Luna piena); rivolse il telescopio in diverse parti del cielo, e di ciascuna contò le stelle visibili. Per evitare irregolarità accidentali, egli prendeva generalmente la media di diversi campi vicini; e pubblicò nel 1785 i risultati degli scandagli

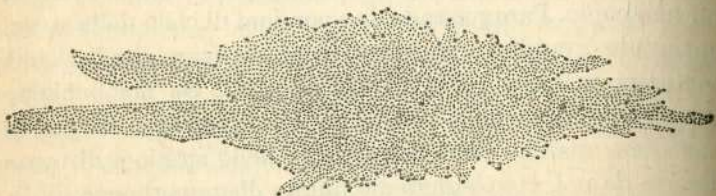



Fig. 83. — *Sezione del sistema siderale.*

Dallo scritto di Herschel, *Nelle Transazioni filosofiche.*

così fatti in 683 regioni (1), alle quali egli ne aggiunse poi 400 altre, che non credè necessario pubblicare. Mentre in alcune parti del cielo non poteva vedere in media che una sola stella alla volta, in altre parti ne erano visibili circa 600; ed egli calcolò, in una certa occasione, che 116,000 stelle attraversarono il campo di osservazione del telescopio nello spazio di un quarto d'ora. Il risultato generale, come lo suggerisce anche l'osservazione grossolana ad occhio nudo, fu questo, che le stelle sono più numerose nella via Lattea e vicino ad essa, che in qualsiasi al-

(1) Nel suo opuscolo del 1817 Herschel dà il numero di 863; ma un'occhiata allo scritto originale del 1785 mostra esservi un errore di stampa.

tra parte del cielo lontana da essa. Ora la via Lattea forma nel cielo una mal definita fascia che non devia molto dalla figura di un cerchio massimo (qualche volta chiamato *galattico*); cosicchè nella ipotesi di Herschel lo spazio occupato dalle stelle ha la forma press'a poco di un disco o macina, della quale, secondo i suoi disegni, il diametro è cinque volte lo spessore. Di più, la via Lattea, per una parte della sua lunghezza, è divisa in due rami e lo spazio fra i due rami è relativamente sgombro di stelle. Questa suddivisione corrisponderebbe ad una supposta fessura nella supposta macina da mulino.

Questa teoria della “ Macina „ riguardo all'universo è stata prima trovata nel 1750 da *Tommaso Wright* (1711-1786) nella sua *Teoria dell' Universo,* e 5 anni più tardi da Kant; ma nessuno dei due aveva tentato, come Herschel, di mettere insieme dei dati numerici e di portare a compimento, in conformità e particolareggiatamente, le conseguenze della ipotesi fondamentale.

Che la assunzione di una uniforme distribuzione di stelle nello spazio non potesse esser vera nei suoi particolari, fu evidente, per Herschel fin da principio. Un gruppo di stelle, p. es., nel quale parecchie migliaia di stelle deboli sono riunite insieme in un piccolissimo spazio di cielo, dovrebbe essere riguardato come una lunga proiezione d'un conglomerato di stelle, estendentesi molto al di là dei limiti delle parti contigue del sistema siderale, e indicante una posizione affatto diversa dalla posizione del sistema solare. Nella stessa maniera certe regioni nel cielo, trovate affatto prive di stelle, si potrebbero riguardare come specie di gallerie attraverso il sistema stellare. Anche nel caso di uno o due di tali conglomerati o gallerie la sola ragione della distanza parrebbe poco probabile; ma siccome i gruppi di stelle si conoscevano in gran numero prima che Herschel cominciasse il suo lavoro, e ne furono da lui scoperti a centinaia, era perciò impossibile spiegare la loro esistenza con

questa ipotesi, e perciò si dovè presumere che un gruppo di stelle occupi una regione di spazio, nella quale le stelle sono più fitte che altrove.

Oltre a ciò, lo studio ulteriore sulla distribuzione delle stelle, particolarmente di quelle nella via Lattea, condusse gradatamente Herschel alla convinzione che la sua prima ipotesi si allontanasse grandemente dalla verità da lui prima supposta: e nel 1811, quasi 30 anni dopo in cui egli ebbe incominciato lo scandaglio delle stelle, cambiò affatto opinione. " Devo francamente confessare che, continuando a spaziare nei cieli, la mia opinione sulla distribuzione delle stelle... è stata sottoposta a cambiamenti graduali...; p. es., una distribuzione uniforme delle stelle può essere ammessa in certi calcoli; ma quando noi esaminiamo la via Lattea, o i gruppi di stelle così fitti, di cui i miei Cataloghi hanno ricordato tanti esempi, bisogna rinunziare a questa supposta uguaglianza di distribuzione delle stelle. „

Il metodo dello scandaglio del cielo, fu inteso prima come atto a far conoscere i limiti del sistema siderale o delle porzioni visibili di esso. Seguendo questo metodo, Herschel costantemente fece uso della lucentezza di una stella, come una probabile prova della sua vicinanza. Se due stelle emettono effettivamente la stessa quantità di luce, quella che è più vicina a noi apparirà la più brillante; e nella ipotesi che non vi sia luce assorbita od arrestata sul suo passaggio attraverso lo spazio, l'apparente splendore delle due stelle starà come l'inverso del quadrato delle loro rispettive distanze. Quindi se noi stimiamo una stella nove volte più lucente d'un'altra, e se riteniamo che questa differenza sia semplicemente dovuta alla differenza di distanza, allora la prima stella è tre volte più vicina della seconda, e così di seguito.

Che le stelle considerate nel loro insieme dieno la stessa quantità di luce, così che la differenza nella loro apparente brillantezza sia dovuta solo alla distanza, è un'ipo-

tesi dello stesso carattere generale di quello della uguale distribuzione. Vi saranno necessariamente molte eccezioni, ma in mancanza di cognizioni più esatte, esso può essere un metodo di valutazione grossolano ma spiccio, con qualche grado di probabilità rispetto alle distanze delle stelle.

Per applicare questo metodo era mestieri avere qualche mezzo per paragonare la quantità di luce ricevuta da diverse stelle. Ciò ottenne Herschel, usando telescopi di grandezza differente. Se la medesima stella è osservata con due telescopi riflettori della medesima costruzione, ma di grandezza differente, allora la luce trasmessa dal telescopio all'occhio, è proporzionale all'area dello specchio che raccoglie la luce, e quindi al quadrato del diametro dello specchio. Perciò l'apparente brillantezza vista con un telescopio, è da un canto proporzionale al quadrato della distanza, dall'altro al quadrato dello specchio del telescopio; quindi la distanza della stella è come se fosse esattamente controbilanciata dal diametro dello specchio del telescopio. Per esempio, se una stella esaminata in un telescopio con specchio di 8 pollici, e un'altra esaminata nel gran telescopio con uno specchio di 4 piedi di diametro, appaiono egualmente brillanti, allora la seconda stella è — secondo l'ipotesi fondamentale — sei volte più lontana.

Nello stesso modo, la grandezza dello specchio necessaria per rendere una stella visibile, era usata da Herschel come misura della distanza della stella medesima; in questo senso egli costantemente alludeva alla “ forza penetrativa nello spazio del suo telescopio. „ Con questa ipotesi egli calcolò le stelle più deboli visibili ad occhio nudo essere circa dodici volte più distanti delle stelle più lucenti, come, p. es., Arturo; mentre che Arturo, messo 900 volte più lontano dalla sua presente distanza, appena sarebbe visibile con il suo telescopio di 20 piedi, che egli usava ordinariamente; e quello di 40 piedi avrebbe una penetrazione due volte maggiore nella profondità dello spazio.

Verso la fine della sua vita (1817) Herschel provò a paragonare statisticamente le sue due ipotesi della distribuzione uniforme nello spazio, e della reale uniforme brillantezza delle stelle, contando il numero di esse di ogni grado di apparente splendore, e paragonandole coi numeri che risulterebbero dalla distribuzione uniforme nello spazio, se la brillantezza apparente dipendesse solamente dalla distanza. La ricerca si estendeva soltanto fino alle stelle visibili ad occhio nudo ed alla più lucente delle stelle telescopiche, e mostrava l'esistenza di un gran numero di stelle deboli di queste classi, cosicchè o queste stelle sono in strati più compatti che quelli brillanti, o in realtà sono più piccole o meno luminose delle altre; ma non si venne a nessuna conclusione definitiva circa al modo come erano distribuite le stelle.

259. La questione della distribuzione e della natura delle *nebulose* (cfr. fig. 100, 102) e quella dei *gruppi di stelle* (cfr. fig. 104) era intimamente connessa con la struttura del sistema siderale. Quando Herschel cominciò il suo lavoro, più di 100 di questi corpi erano noti, ed erano stati per la maggior parte scoperti dagli osservatori francesi Lacaille (Cap. X, § 223) e Carlo Messier (1730-1817). Messier si può dire che sia stato di professione un cacciatore di comete; essendo facile scambiare le nebulose con le comete, egli registrò (1781) le posizioni di 103 nebulose. Le scoperte di Herschel più sistematiche — con strumenti assai più potenti — erano eseguite su più vasta scala. Nel 1786 presentò alla Società Reale un Catalogo di 1000 nuove nebulose e gruppi di stelle; tre anni dipoi un simile Catalogo della stessa estensione, e nel 1802 un terzo che ne comprendeva 500. Ogni nebulosa era diligentemente esaminata, e però la sua apparenza generale e la sua posizione erano notate e descritte; e, per ottenere una idea generale della distribuzione delle nebulose nel cielo, le posizioni erano segnate sopra una carta stellare. Le diffe-

renze nella lucentezza e nella struttura apparente condussero alla divisione in otto classi: ed al principio del suo lavoro diede (1786) un saggio della straordinaria varietà di forme da lui rilevate:

“ Ho potuto osservare nebulose doppie e triple variamente distribuite: alcune grandi con speciali nebulose intorno; nebulose strette ma limpide; alcune della forma di un ventaglio, che rammentavano sprazzi di luce elettrica, irrompenti da un punto splendente; altre della forma delle comete, che sembrava avessero un nucleo centrale; oppure come stelle offuscate circondate da un'atmosfera nebbiosa; un'altra diversa specie possiede ancora una nebulosità come quella della via Lattea o come quel maraviglioso fenomeno inesplicabile intorno ad Orione; mentre finalmente altre brillano di luce variegata e punteggiata, che addimostrano potersi risolvere in istelle. „

260. Ma il più interessante problema della loro classificazione era quello della relazione che esiste fra le nebulose e i gruppi di stelle. Le Pleiadi, p. es., appaiono agli occhi dei più quale gruppo di 6 stelle unite insieme; ma molte persone, di vista corta, non vedono altro che una porzione di cielo, che è assai più brillante della regione adiacente; inoltre quella chiazza nebulosa, come appare agli occhi de' più, conosciuta col nome di Praesepe (nel Cancro), è stata riconosciuta col più debole telescopio per un gruppo di stelle. Con lo stesso procedimento altri corpi, che, veduti a traverso un telescopio di piccola portata, appaiono offuscati o nebulosi, esaminati con telescopi più potenti si riconoscono per gruppi di stelle. Herschel specialmente trovò che molti corpi, che per Messier erano puramente nebulose, al suo gran telescopio altro non apparivano che gruppi, quantunque alcuni rimanessero ancora allo stato di nebulose. Ecco le sue proprie parole:

“ Le nebulose possono essere classificate in modo che una insensibile gradazione vi sia fra un grosso gruppo si-

mile alle Pleiadi ed una nebulosa di carattere *latteo* come quella di Orione, con tutte le gradazioni intermedie. „

Questi fatti mostrano chiaramente che la differenza fra nebulose e gruppi di stelle, era dovuta soltanto alla potenza più o meno grande del telescopio adoperato, e infatti Herschel dice:

“ Ciò tende a confermare l'ipotesi che tutte sono composte di stelle più o meno remote. „

L'idea non era nuova, essendo stata suggerita, piuttosto sopra un terreno speculativo che scientifico, nel 1755 da Kant, che pel primo asserì che una semplice nebulosa, od un gruppo di stelle, è un insieme di stelle paragonabili, per grandezza e struttura, all'insieme di quelle che costituiscono la via Lattea e le altre stelle separate e vedute da noi. Da questo punto di vista il Sole è pure una stella in un gruppo, e ogni nebulosa che vediamo, è un sistema del medesimo ordine. Questa teoria sulle nebulose come un “ Universo di isole, „ fu dapprincipio accettata anche da Herschel, così che egli stesso disse una volta a Miss Burney che aveva scoperto 1500 nuovi universi.

Herschel però era uno di quegli investigatori che tengono ben poco alle teorie; e, non più tardi del 1791, nuove osservazioni lo resero convinto, che queste opinioni erano inattendibili; e, che almeno alcune nebulose erano ben diverse dai gruppi di stelle. L'oggetto speciale, che lo fece così cambiar d'opinione, fu una certa stella nebulosa, cioè una stella che somigliava alle altre, ma che era circondata da una aureola, che gradatamente diminuisce di splendore.

“ Gettate i vostri sguardi, „ egli dice, “ su questa offuscata stella, e il resultato sarà non meno decisivo. La vostra sentenza sarà, oso dire, che la *nebulosità intorno alla stella non è di natura stellare.* „

Se la nebulosità fosse dovuta ad un'aggregazione di stelle tanto lontane da essere indistinte le une dalle altre,

allora il corpo centrale dovrebbe essere un astro, di dimensioni incomparabilmente più grandi delle stelle ordinarie; se, d'altra parte, il corpo centrale fosse in grandezza paragonabile a qualunque altra stella ordinaria, la nebulosità sarebbe dovuta a qualche altra cosa molto differente da un gruppo di stelle. In ambedue i casi l'oggetto presenta forme marcatamente diverse da quelle di un gruppo di stelle della specie riconosciuta, e delle due *spiegazioni alternative* Herschel scelse l'ultima, considerando la nebulosità come " un fluido splendente di natura affatto a noi sconosciuta. „ Ammessa così una eccezione alle sue vedute di una volta, altre naturalmente ne seguirono per analogia, e da qual momento egli riconobbe le nebulose della classe dei " fluidi splendenti „ come essenzialmente diverse dai gruppi di stelle, quantunque in molti casi non gli sarebbe stato possibile definire a qual classe appartenesse l'uno o l'altro corpo.

Le prove raccolte da Herschel rispetto alla distribuzione delle nebulose dimostrarono ancora che, qualunque fosse la loro natura, esse non potevano essere indipendenti dal generale sistema siderale, come nella teoria dell' " Universo di isole. „ In primo luogo l'osservazione presto gli dimostrò che una sola nebulosa, o gruppo di stelle, era comunemente circondata da una regione di cielo comparativamente sgombra da stelle; e questo caso era tanto comune, che spesse volte, dopo essere andato spaziando nel cielo in cerca di nebulose, se una regione di cielo libera di stelle si presentava nel campo visuale del telescopio, avvisava subito la sorella che si tenesse pronta a prender nota delle osservazioni su qualche nebulosa. Inoltre, appena un grosso numero di nebulose fu conosciuto e fissato, apparve che mentre i gruppi stellari erano numerosissimi nella vicinanza della via Lattea e le nebulose non riducibili assai scarse, queste ultime si accumulavano nelle regioni del cielo le

più remote dalla via Lattea (1) — cioè intorno ai poli del circolo galattico (§ 258). Se le nebulose fossero sistemi esterni, nessuna ragione vi sarebbe che esse addimostrassero un legame qualsiasi con le regioni le più scarse di stelle o con la posizione della via Lattea.

È perciò notevole che Herschel non apprezzasse pienamente, sotto questo rispetto, le conseguenze delle proprie osservazioni, e fino al termine della sua vita pare abbia considerato, che alcune nebulose e gruppi fossero " Universi " esterni, quantunque molti ritenne facessero parte del nostro proprio sistema.

261. Fin dal 1789 Herschel aveva emesso l'idea che i due tipi differenti di nebulose e di gruppi erano corpi della stessa specie a stadi diversi di sviluppo, d'onde parea esistesse un " potere di raggruppamento " per convertire le nebulose diffuse in un corpo più compatto e più brillante, così che la condensazione poteva riguardarsi come una funzione del tempo.

" Questo metodo di considerare i cieli li fa vedere sotto una nuova luce. Essi sembrano quindi un lussureggiante giardino, contenente le più svariate produzioni, in aiuole di diversa fioritura; e il vantaggio che per lo meno se ne può ricavare, come fu fatto, è che si possono protrarre per molto tempo i nostri esperimenti. Poichè, per continuare la similitudine, tolta dal regno vegetale, non sarebbe egli lo stesso se noi vivessimo tanto da assistere alla germogliazione, alla fioritura, allo spuntar delle foglie, alla fecondità, all'appassimento, all'avvizzimento ed alla corruzione della pianta, o se un numero infinito di esempi scelti da ogni stadio, per i quali passa la pianta nel corso della sua esistenza, ci fosse messo tutto in una volta dinanzi agli occhi? "

---

(1) Questa considerazione è una delle fondamentali per lo studio della costituzione dell'universo. (*N. d. Tr.*)

Il suo cambiamento di opinione nel 1791, rispetto alla natura delle nebulose, lo condusse ad una corrispondente modificazione delle sue vedute circa il processo della condensazione. Della stella, di cui già abbiamo parlato (§ 260), egli notò che il suo sviluppo nebuloso " era più atto a produrre una stella per mezzo della sua condensazione, che a dipendere dalla stella medesima per la sua esistenza. „ Nel 1811 e nel 1814 pubblicò una completa teoria di un possibile processo, nel caso che il brillante fluido che costituisce una nebulosa diffusa, potesse gradatamente condensarsi — le parti più dense di essa essendo i centri di attrazione — prima in una più densa nebulosa o in un gruppo di stelle compatto, poi in una o più stelle nebulose, da ultimo in una sola stella o gruppo di stelle. Ogni stadio supposto in questo processo era largamente illustrato dalle registrazioni delle presenti nebulose e gruppi da lui osservati.

In uno degli ultimi scritti egli riconobbe per la prima volta che i gruppi, che si trovano presso o nella via Lattea, appartenevano realmente ad essa, e non erano affatto sistemi indipendenti, che per caso fossero nella medesima direzione visuale.

262. In un altro punto analogo a questo Herschel cambiò il suo pensiero verso la fine della sua vita. La prima volta che adoperò il telescopio di 20 piedi per esplorare la via Lattea, credè avere con buon esito spiegato, che la sua debole luce non è altro che un composto di stelle, e di essere così penetrato fino al fondo della via Lattea; ma dopo si persuase che ciò non era così; che rimanevano ancora porzioni nebulose, le quali — o sia per la loro lontananza od altra ragione — il suo telescopio non giungeva a riconoscere per stelle (cfr. fig. 104).

Laonde in causa di ambedue questi rispetti la struttura della via Lattea apparve a lui meno semplice che per lo addietro.

263. Una delle più notevoli scoperte di Herschel fu la conseguenza di una ricerca di carattere affatto differente. Precisamente come Bradley, che, tentando di trovare la parallasse di una stella, scoperse l'aberrazione e la nutazione (Cap. X, § 207), così lo stesso problema nelle mani di Herschel condusse alla scoperta delle stelle doppie. Egli si propose di usare il metodo differenziale di Galileo od il metodo della doppia stella (Cap. IV, § 129), nel quale il minimo cambiamento nella posizione di una stella, dovuto al movimento della Terra intorno al Sole, risulta non dal determinare la sua distanza angolare da punti fissi sulla sfera celeste, come sarebbe il polo o lo zenit, ma dall'osservare le variazioni nella sua distanza da qualche stella ad essa vicina, che per la sua debolezza o per altra ragione si può ritenere molto più lontana e perciò meno influenzata dal movimento della Terra.

Con questo intendimento Herschel si mise al lavoro per trovare delle coppie di stelle tanto vicine una all'altra da rispondere al suo scopo, e, con la sua solita alacrità, volle vedere e registrare tutto ciò, che si poteva vedere, raccogliendo larga mèsse di tali osservazioni. Il limite della distanza fra le due componenti la doppia, al di là del quale non credeva che importasse andare, era 2′, intervallo impercettibile ad occhio nudo, eccetto nei casi di una vista oltremodo acuta. In altre parole le due stelle — anche se abbastanza brillanti da potersi vedere — apparirebbero sempre *una* sola agli occhi dei più. Un primo Catalogo di tali doppie, ogni coppia formando ciò che si chiama *una doppia stella*, fu pubblicato sui primi del 1782 e ne conteneva 269, delle quali 227 erano scoperte nuove; un secondo Catalogo di 434 doppie fu presentato alla Società Reale alla fine del 1784; e finalmente il suo ultimo scritto, mandato alla Società Reale astronomica nel 1821 e pubblicato nel primo volume delle sue Memorie, ne conteneva un elenco di 145 e più. Oltre la posizione di ogni coppia

di stelle, la distanza angolare fra le due componenti, la direzione della retta che le univa e la lucentezza d'ognuna erano accuratamente registrate. In qualche caso era indicato anche il curioso contrasto di colori delle due componenti. Vi erano non pochi casi, in cui non soltanto due, ma tre o quattro stelle erano tanto vicine da formare una stella multipla.

Herschel da principio aveva creduto che una stella doppia fosse dovuta a una coincidenza affatto causale nella direzione di due stelle, che non avendo fra loro nessuna connessione, una di queste potesse essere assai più lontana dell'altra. Era stato però osservato da Michell (Cap. X, § 219), fin dal 1767, che perfino le poche stelle doppie allora conosciute porgevano esempi di coincidenze, che probabilmente non risultavano dalla pura accidentale distribuzione delle stelle. Consideriamo un caso particolare per rendere più chiaro l'argomento, quantunque il ragionamento di Michell sull'argomento non fosse messo sotto forma numerica. La splendida stella Castore (nei Gemelli) da molto tempo fu riconosciuta consistere in un sistema di due stelle separate da circa 5″, che diremo α e β. Senza eccezione vi sono circa 50 stelle dello stesso splendore di α e 400 come β. Nessuna serie di stelle dimostra una speciale tendenza di distribuzione nella sfera celeste. Così che la questione della probabilità è questa: se vi sono 50 stelle del tipo α e 400 del tipo β sparse a caso sopra tutta la sfera celeste, non avendo le due distribuzioni fra loro nessun legame, quale è la probabilità che una stella della prima serie si trovi 5″ distante da una del secondo gruppo? Qui la probabilità è quasi la stessa di quella che si ha, seminando a caso 50 semi di frumento e 400 semi di orzo in un campo di 100 jugeri, di trovare in un mezzo pollice un seme di grano con un seme di orzo. I casi sfavorevoli sono evidentemente in grandissimo numero, e si può dimostrare che sono più di 300,000 contro uno favorevole.

Questi sono i casi sfavorevoli all'esistenza, senza alcun vero legame fra i componenti di una *singola* stella doppia come Castore; ma quando Herschel cominciò a scoprire le stelle doppie a centinaia, la improbabilità crebbe a dismisura. Nella sua prima Memoria Herschel diede come sua opinione " che fosse troppo presto per formular teorie su piccole stelle che s'avvolgono intorno a stelle più grandi, " osservazione che dimostra come l'idea era stata presa in considerazione; e nel 1784 Michell ritornò sull'argomento, ed espresse l'opinione che i casi in favore di una relazione fisica fra i componenti delle *stelle doppie* di recente scoperte da Herschel era " al di là dell'aritmetica. "

264. Vent'anni dopo la pubblicazione del suo primo Catalogo, Herschel era dell'opinione di Michell; ma ora potè avvalorarla con una prova di carattere nuovo e più diretto; una serie di osservazioni su Castore, presentate in due Memorie pubblicatesi nelle *Philosophical Transactions* del 1803 e 1804, che furono fortunatamente completate da una osservazione di Bradley nel 1759, aveva dimostrato un cambiamento progressivo nella direzione della retta, che univa le due componenti, di tal carattere da non lasciar dubbio che le due stelle s'avvolgessero una intorno all'altra; vi erano più cinque altri casi nei quali era stato osservato un movimento analogo. In questi sei casi fu così dimostrato che la *stella doppia* era realmente formata da una coppia di stelle abbastanza vicine per influenzarsi a vicenda nel loro movimento. Una *stella doppia* di questo genere è chiamata una *stella binaria* o *stella fisicamente doppia,* per distinguerla dalla stella *otticamente doppia,* le cui due componenti non hanno fra loro nessun legame. In tre casi, compreso quello di Castore, le osservazioni furono sufficienti per potere, a un dipresso, calcolare il periodo di una completa rivoluzione di una stella intorno ad un'altra, supposto che si muova con velocità uniforme: i risultati dati da Herschel

furono di 342 anni per Castore (1), 375 e 1200 per gli altri due. Se ne inferiva evidentemente che il movimento di rivoluzione osservato in una stella binaria fosse dovuto alla mutua gravitazione delle sue componenti, quantunque i dati di Herschel non bastassero per determinare con precisione la legge del movimento; e cinque anni dopo la sua morte fu fatto il primo tentativo per mostrare che l'orbita di una stella binaria era tale come sarebbe occorso quando le due componenti obbedissero alla legge della gravitazione. (Cap. XIII, § 309; cfr. anche fig. 101). Ciò può riguardarsi come la prima prova diretta dell'applicazione della legge di gravitazione a regioni al di là del sistema solare.

Benchè poche stelle doppie fossero definite quali stelle binarie, non vi era ragione perchè molte altre non dovessero esserlo, non avendo esse un movimento tanto rapido da esser reso manifesto durante un quarto di secolo, o circa, in cui si estesero le osservazioni di Herschel; e questa probabilità tolse interamente l'utilità delle *stelle doppie* per lo scopo particolare per il quale Herschel le aveva prima ricercate. Poichè se una *stella doppia* è binaria, allora le due componenti sono approssimativamente alla stessa distanza dalla Terra, laddove per trovare la parallasse è essenziale che una stella sia molto più lontana dell'altra. Ma la scoperta da lui fatta gli sembrò molto più interessante, che quella che aveva tentato di fare, ma che era andata fallita; secondo il suo parlare poetico diceva che gli era successo come a Saul che era andato a cercare gli asini del padre e trovò un regno.

265. Si sapeva fin dal tempo di Halley (Cap. X, § 203) che certe stelle avevano un movimento proprio relativamente alla totalità delle stelle. La convinzione, che fra gli

(1) Il moto di Castore è diventato più lento da Herschel in poi, e il presente valore del periodo è di circa 1000 anni; ma non è affatto certo.

astronomi era andata sempre prendendo più consistenza, che cioè il Sole è una delle stelle fisse, suggerì l'idea che il Sole, come le altre stelle, potesse avere un movimento nello spazio. Tommaso Wright, Lambert e altri hanno studiato questo soggetto, e Tobia Mayer ha trovato il modo di scoprire questo movimento.

Se una stella sola sembra muoversi, allora, per il principio del moto relativo (Cap. IV, § 77), ciò può egualmente bene spiegarsi o che la stella si muova realmente o che si muova l'osservatore, o che si combinino i moti di ambedue; e dacchè in questo problema i movimenti interni

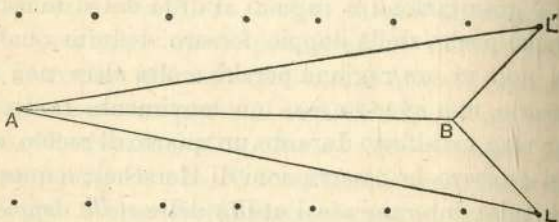



Fig. 84. — *Illustrazione dell'effetto del movimento del Sole nello spazio.*

del sistema solare possono essere trascurati, questo moto dell'osservatore può essere identificato con quello del Sole. Quando si considerano i movimenti propri di parecchie stelle, per dare ad essi una adeguata spiegazione, il solo movimento del Sole non basta per spiegarli, ma si possono considerare o come dovuti soltanto al moto delle stelle nello spazio, o come una combinazione di essi movimenti con qualche movimento del Sole. Ma se riguardiamo le stelle come immobili ed il Sole moventesi verso un punto particolare della sfera celeste, allora, per un effetto ovvio di prospettiva, le stelle vicine a quel dato punto sembreranno allontanarsi una dall'altra nella sfera celeste, mentre quelle dalla parte opposta parranno avvicinarsi, e la grandezza di questi cambiamenti dipenderanno e dalla rapidità del moto del Sole e dalla vicinanza delle stelle in

questione. L'effetto è precisamente della stessa natura di quello che si ha allorquando si osserva in una via di notte due lampade poste una di fronte all'altra e distanti da noi; esse ci appaiono unite, ma camminando lungo la via alla loro volta, più ci avviciniamo, più sembrano separarsi. Nella figura, per es., L e L' veduti da B sembrano molto più lontani che veduti da A.

Se i movimenti propri delle stelle esaminate non sono di questo carattere non possono essere spiegati come dovuti *semplicemente* al movimento del Sole; ma se qualche tendenza esse rilevano di muoversi nel modo sopraddetto, allora le osservazioni possono essere con più semplicità spiegate, riguardando il Sole come in moto, e stabilendo che la differenza fra gli effetti risultanti dai movimenti assunti per il Sole e i moti propri osservati sono dovuti al moto nello spazio delle diverse stelle.

Coi pochi moti propri, che Mayer aveva a sua disposizione, fu però incapace di trarne alcuna indicazione di un movimento del Sole.

Herschel usò i moti propri, pubblicati da Maskelyne e da Lalande, di 14 stelle (13 se la doppia stella Castore è riguardata per una) e con straordinaria perspicacia scoprì in loro una certa uniformità di moto della natura già descritta, tale come risulterebbe da un moto del Sole. Il punto sulla sfera celeste, verso il quale si assumeva muoversi il Sole, l'*Apice*, come egli lo chiamava, fu il punto segnato dalla stella λ nella costellazione di Ercole. Un movimento del Sole in quella direzione stimò egli capace di produrre nelle 14 stelle un moto apparente, che nella maggior parte dei casi si accordava con quelli osservati (1). Questo risul-

(1) Con più precisione, computando i moti nell'ascensione retta e nella declinazione separatamente, utilizzò 27 moti osservati (una delle stelle non aveva moto in declinazione); 22 si accordavano nel segno con quello che sarebbe risultato dal presupposto moto del Sole.

tato fu pubblicato nel 1783, e pochi mesi dopo *Pietro Prevost* (1751-1839) dedusse un risultato molto simile dall'insieme dei moti propri di Tobia Mayer. Più di 20 anni più tardi (1805) Herschel riprese la questione adoperando sei delle stelle più brillanti, comprese in una serie di 36, pubblicata da Maskelyne nel 1790, serie molto più sicura di tutte quelle pubblicate fino allora, e con processi di calcolo molto più precisi; e di nuovo l'apice risultò nella costellazione di Ercole, benchè alla distanza di quasi 30° dalla posizione data nel 1783. I risultati di Herschel erano indubbiamente largamente speculativi, e furono accolti dagli astronomi contemporanei con moltissima sfiducia; ma molte investigazioni moderne più accurate sullo stesso soggetto hanno confermata la generale correttezza del suo lavoro; la determinazione fatta dapprincipio rimase però sempre la più esatta. Egli si provò anche, in quelle stesse Memorie, ed in una terza pubblicata nel 1806, a determinare la velocità nonchè la direzione del moto del Sole; ma l'opera necessariamente coinvolgeva tante ipotesi circa la probabile distanza delle stelle — sconosciuta affatto — che non vale la pena di riportare i risultati più particolareggiati che non sia il cenno fatto nella Memoria del 1783, cioè che: “ Noi possiamo in generale affermare che il moto solare non può essere certamente minore di quello che la Terra compie nella sua orbita annuale. „

266. La questione della comparativa lucentezza delle stelle era, come abbiamo veduto (§ 258), importante rispetto ai tentativi fatti da Herschel per determinare le relative loro distanze dalla Terra, e la loro distribuzione nello spazio; riguardava pure le ricerche intorno alla variabilità della luce delle stelle. Per qualche tempo furono conosciuti due notevoli casi di variabilità di luce nelle stelle. Una stella nella Balena (ο Ceti, ovvero Mira Ceti) si rendeva a volte invisibile ad occhio nudo e qualche altra volta era brillantissima; un astronomo danese, *Phocylides Hol-*

warda (1618-1651), riconobbe, pel primo, chiaramente il suo carattere variabile (1639) e *Ismael Boulliau* o *Bullialdus* (1605-1694) nel 1667 fissò il suo periodo a circa undici mesi, quantunque si riscontrasse che le sue fluttuazioni fossero irregolari tanto nella quantità quanto nel periodo. Le sue variazioni formarono il soggetto della prima pubblicazione fatta da Herschel nelle *Philosophical Transactions* (1780). Una stella ugualmente notevole come variabile è quella conosciuta col nome di *Algol* (o β Perseo), le fluttuazioni della quale si compiono con una regolarità quasi assoluta. La sua variabilità era stata notata da *Geminiano Montanari* (1632-1687) nel 1669; ma la regolarità dei suoi cambiamenti fu prima rivelata nel 1783 da *Giovanni Goodricke* (1764-1788), che presto potè fissare il suo periodo molto approssimativamente a 2 giorni, 20 ore e 49 minuti; Algol, nel momento del minimo splendore, dà circa un quarto di luce di quella che dà quando è nel momento della maggiore lucentezza, ed il cambiamento dal primo stato al secondo si compie in quasi dieci ore; mentre Mira ha un rapporto di parecchie centinaia fra il massimo e il minimo di luce, ma compie i cambiamenti molto più lentamente.

Al principio della carriera di Herschel queste, e tre o quattro altre di minore interesse, erano le sole stelle variabili definitivamente riconosciute, benchè alcune altre se ne aggiungessero subito dopo. Esistevano anche parecchie notizie delle così dette “ *nuove* „ stelle, le quali erano state ad un tratto rinvenute in punti del cielo, dove nessun'altra stella era stata prima veduta, e per la maggior parte presto si oscuravano nuovamente (cfr. Cap. II, § 42; Cap. V, § 100; Cap. VII, § 138); tali stelle si possono riguardare benissimo come stelle variabili; in esse l'epoca del maggiore splendore si verifica irregolarmente ed a lunghi intervalli. Inoltre, varie notizie di astronomi di tempi addietro riguardo allo splendore delle stelle lasciano ben poco

dubbio che molte abbiano variato sensibilmente in isplendore. Per esempio, una piccola stella dell'Orsa Maggiore (vicino alla stella di mezzo del "*timone*" era fra gli Arabi una prova evidente di vista acuta, ma è perfettamente visibile anche sul nostro cielo più caliginoso a persona di vista ordinaria (1); e Castore che sembrava a Bayer, quando pubblicò il suo Atlante (1603), la più brillante dei due Gemelli, era nel secolo XVIII meno brillante di Polluce, come è anche al giorno d'oggi. Herschel fece molte precise determinazioni della quantità di luce emessa da stelle di diverse grandezze, ma non gli bastò mai l'animo di condurre a termine su questo soggetto misure estese e sistematiche. Con l'idea di scoprire in seguito tali cambiamenti di splendore, quali abbiamo appunto menzionati, egli inventò e ampiamente svolse il metodo estremamente semplice delle *sequenze*. Se è stato osservato un gruppo di stelle e notato il loro grado di lucentezza in due diversi momenti, qualunque cambiamento che si verifichi nell'ordine, denota che lo splendore di una o più stelle è cambiato. Così pure se un certo numero di stelle sono osservate in serie, così che ogni stella è notata per essere meno brillante di un'altra ad essa vicina, e più splendente di certe altre, avremo gli elementi per scoprire in seguito e determinare qualunque variazione del loro splendore. Herschel preparò a questo proposito in diverse epoche, fra il 1796 e il 1799, quattro Cataloghi di lucentezze comparative basate sopra osservazioni ad occhio nudo, che comprendevano in tutto 3000 stelle. Notò nel corso del suo lavoro molti casi di leggera variabilità; ma la scoperta più interessante di questo genere fu

---

(1) L'autore accenna ad Alcor presso Mizar; la distanza angolare fra le due stelle è 11',8; Mizar di 2ª e Alcor di 5ª grandezza. Se per gli Arabi la loro separazione e visibilità era un provino di buona vista, ciò dipende perchè in plaghe più meridionali delle nostre la costellazione è più bassa. (*N. del Tr.*).

quella della variabilità della ben conosciuta stella α d'*Ercole*, annunziata nel 1796. Il periodo fu calcolato di 60 giorni, e così pareva che la stella formasse un anello di congiunzione fra le stelle variabili conosciute, che, come Algol, aveva un periodo di pochi giorni, e quelle (fra le quali Mira era la più conosciuta) con periodi di centinaia di giorni. Come al solito, Herschel non si contentò di una semplice registrazione di osservazioni, ma tentò spiegare i fatti osservati con la supposizione che la stella avesse un moto di rotazione e che la sua superficie fosse di lucentezza disuguale.

267. La novità dell'opera di Herschel sulle stelle fisse, e il carattere molto generale dei resultati ottenuti, ha alquanto offuscato, per dir così, gli altri suoi contributi all'Astronomia.

Quantunque non fosse nel suo intendimento di contribuire alla precisa conoscenza dei movimenti dei corpi del sistema solare, che ha occupato le migliori intelligenze in fatto di Astronomia del secolo XVIII — sia che fossero osservatori o matematici — fu un diligente ed assiduo osservatore dei corpi stessi, che studiò sempre con buon esito.

Abbiamo già discorso della sua scoperta di Urano, di due dei suoi satelliti, e di due nuovi satelliti di Saturno, parlando della sua vita (§§ 253, 255). Credè inoltre aver veduto (1798) due altri satelliti di Urano, ma la loro presenza non fu mai pienamente verificata; e la seconda coppia di satelliti che ora sappiamo appartenere ad Urano, e che furono scoperti da Lassell nel 1847 (Cap. XIII, §§ 295), non si accordano nè per posizione, nè per movimento con nessuno dei quattro scoperti da Herschel. È perciò probabilissimo che fossero mere illusioni ottiche, dovute ai difetti del suo specchio, benchè non sia impossibile che abbia intravveduto o l'uno o l'altro dei satelliti di Lassell, e che abbia male interpretate le osservazioni.

Saturno fu sempre un oggetto di studio caro a Herschel fin dal principio della sua carriera astronomica, tanto che

egli pubblicò, fra il 1790 e il 1806, sette Memorie che trattavano di questo argomento. Egli osservò e misurò la deviazione della forma del pianeta dalla forma sferica (1790); osservò parecchie macchie sulla superficie stessa del pianeta e pare che abbia veduto anche l'anello interno, cioè quello che per il debole suo lucore chiamasi ora l'anello oscuro o velato (Cap. XIII, § 295), quantunque egli non ne riconoscesse la natura. Considerando alcune macchie a qualche distanza dall'Equatore, scoprì (1790) che Saturno ruotava intorno ad un asse, e fissò il periodo di rotazione circa a 10 ore e 16 minuti (periodo che differisce soltanto di 2 minuti dai valori odierni); e, per mezzo di simili osservazioni dell'anello (1790), concluse che esso compiva la sua rotazione in circa 10 ore $^1/_2$; l'asse di rotazione essendo in ambedue i casi perpendicolare al piano dell'anello. Il satellite di Japeto, scoperto da Cassini nel 1671 (Capitolo VIII, § 160), era stato, e per lungo tempo, ritenuto variabilissimo nello splendore, essendo la luce emessa una volta in quantità maggiore che in un'altra. Herschel trovò che queste variazioni non solo erano perfettamente regolari, ma si verificavano in un intervallo uguale a quello del periodo di rivoluzione del satellite intorno al suo astro (1792), conclusione alla quale anche Cassini aveva pensato, ma dipoi non accettata come non conforme alle sue osservazioni. Questa particolarità era evidentemente suscettibile di spiegazione col supporre che le diverse porzioni di Japeto avessero un diverso potere di riflettere la luce; e che, come la nostra Luna, girasse intorno al suo asse una volta in ogni rivoluzione, in tal modo da presentare sempre la stessa faccia al proprio astro, e conseguentemente ora un emisfero ora l'altro ad un osservatore della Terra. Era naturale che la conghiettura di una tale disposizione fosse comune a tutti i satelliti; ed Herschel ottenne (1797) qualche prova della variabilità nei satelliti di Giove, che gli parve in appoggio della sua ipotesi.

Le osservazioni di Herschel su altri pianeti sono state meno importanti. Rigettò con ragione le supposte osservazioni di Schroeter (§ 271) di grandi montagne sopra Venere, e solo gli riuscì scoprire (1) alcune macchie indistinte, dalle quali si poteva dedurre, alquanto dubbiosamente, la rotazione del pianeta intorno ad un asse. Osservò pure spesso le ordinarie fascie brillanti attorno a Giove, chiamate fascie, le quali egli per il primo qualificò (1793) cumuli di nubi. Sopra Marte egli osservò la periodica diminuzione delle calotte bianche sui due poli, ed osservò pure come sotto questo ed altri rispetti Marte fosse dei pianeti il più somigliante alla Terra.

268. Herschel fece pure molte osservazioni accurate sul Sole, e fondò sopra di esse la famosa teoria sulla sua struttura. Confermò l'esistenza del variabile aspetto della superficie del Sole, che era già stato notato dai primi che utilizzarono il cannocchiale, come Galileo, Scheiner e Hevel, ed aggiunse qualche particolare. Da Galileo in poi la natura delle macchie era stata identificata da vari osservatori per nubi, cime di monti, prodotti di vulcani, ecc.; ma nessuna di queste ipotesi era stata sostenuta con qualche seria evidenza. Quelle macchie apparenti suggerirono ad Herschel l'idea che fossero depressioni sulla superficie del Sole, opinione che aveva il suo fondamento dal fatto che egli aveva veduto per caso una macchia, mentre passava sopra il margine del Sole, con tutta l'apparenza di una depressione od avvallamento. Sopra questa base piuttosto debole di fatti, costruì (1795) una elaborata teoria sulla natura del Sole, che attirò l'universale attenzione per la sua geniale e pittoresca forma, ed ebbe approvazione generale dal mondo astronomico per più di mezzo secolo. L'interno

---

(1) Le due fasce centrali furono vedute per la prima volta dal padre Zucchi il 17 maggio 1630. (*N. d. Tr.*).

del Sole si ritenne che fosse freddo, scuro e solido, circondato da due strati gassosi, dei quali il superiore era la *Fotosfera,* o la superficie ordinaria del Sole, intensamente calda e luminosa, e l'inferiore serviva da schermo per proteggere l'interno. L'ombra (Cap. VI, § 124) di una macchia era il nucleo interno veduto attraverso l'apertura dello strato gassoso, e la penombra corrispondeva allo strato gassoso inferiore reso luminoso dalla luce che veniva dal di sopra.

" Il Sole riguardato sotto quest'aspetto non risulta essere altro che un eminente, ampio e lucido pianeta, di certo il primo, o, strettamente parlando, il solo astro primario del nostro sistema. Probabilmente è, come tutti gli altri pianeti, abitato da esseri, i cui organi sono adattati alle condizioni particolari di questo vasto globo ".

Che queste depressioni fossero macchie era stato suggerito più di vent'anni prima (1774) da *Alessandro Wilson* di Glasgow (1774-1786) e avvalorate da una prova diversa da quella di Herschel, e, sotto un certo riflesso, anche più concludente. Wilson osservò, prima in occasione di una gran macchia veduta nel 1769 e dopo in altri casi, che, ruotando il Sole, la macchia sembra attraversare il disco da un lembo ad un altro, assumendo gli aspetti prospettici offerti da una cavità nella fotosfera a forma di scodella, il cui fondo è l'ombra e gli orli ripiegati la penombra, questa apparendo più stretta dalla parte del centro del Sole e più ampia dalla parte del lembo. Quindi Wilson determinò, come Herschel, ma con meno sicurezza, che il corpo del Sole era scuro. Nello scritto testè riferito, Herschel non dà segno di conoscere il lavoro di Wilson; ma in una seconda Memoria (1801), che conteneva anche una pregevole serie di osservazioni delle macchie particolareggiate della superficie del Sole, egli allude alla " prova geometrica di Wilson " della depressione dell'ombra di una macchia.

Quantunque sia facile vedere ora che la teoria di Herschel fosse una precipitosa generalizzazione sopra dati incerti, essa nondimeno spiegava — con esito felice — molte delle osservazioni fatte intorno a quel tempo.

Le cognizioni moderne sul calore, non accessibili ad Herschel, ci dimostrano l'impossibilità fondamentale di una continuata esistenza di un corpo, che abbia l'interno freddo e una fascia superficiale di materia luminosa intorno; e la teoria sotto questa forma è perciò puramente d'interesse storico (cf. anche Cap. XIII, §§ 298, 303).

269. Un'altra idea suggestiva di Herschel fu l'analogia fra il Sole e una stella variabile, poichè la variazione nel numero delle macchie e forse di altri particolari sul Sole gli suggerì la probabilità che la luce ed il calore emessi da esso potessero in qualche modo variare nella loro totale quantità. Tentò di misurare l'influenza esercitata da ciò sopra la Terra; e non possedendo i dati certi meteorologici, con l'acume che lo caratterizzava, prese a considerare il prezzo del grano, e cercò di porre in evidenza che in certi tempi, quando le macchie del Sole erano state scarse — scarsità che, secondo le vedute di Herschel, corrispondeva ai periodi di diminuita attività solare — il grano era stato caro, e la stagione presumibilmente fredda. In realtà però questi dati erano insufficienti per stabilire qualsiasi precisa conclusione.

270. Per spingere sempre più innanzi le ricerche astronomiche già delineate, e altre poche di minor importanza, Herschel spese qualche tempo, principalmente verso la fine della sua vita, lavorando intorno alla luce e al calore; ma i risultati che ne ottenne, quantunque di non poco valore, appartengono piuttosto alla Fisica che all'Astronomia, e non possono perciò trovar posto in questo libro.

271. È cosa ben naturale di associare le meravigliose serie di scoperte di Herschel al mezzo che aveva di poter disporre dei suoi telescopi di straordinaria potenza, e al

concepimento di un nuovo programma di ricerche astronomiche; elementi certamente essenziali. È cosa però significante e degna di considerazione, che quantunque un gran numero de' suoi telescopi fossero in mano di altri astronomi, e quantunque il programma delle sue ricerche astronomiche fosse noto a tutto il mondo, pure nessuno dei suoi contemporanei eseguì lavori di tale importanza e quantità paragonabili ai suoi.

Quasi il solo astronomo di quel periodo, la cui opera merita di essere menzionata dopo quella di Herschel, a cui è inferiore sia per originalità sia per estensione, fu *Giovanni Girolamo Schroeter* (1745-1816). Occupava egli una posizione ufficiale a Lilienthal, presso Brema, e dedicò le sue ore d'ozio per quasi trent'anni a scrutare i pianeti e la Luna, ed anche, benchè meno intensamente, altri corpi celesti. Quantunque, come abbiamo veduto in addietro quando si trattava di Venere (§ 267), i suoi risultati non fossero sempre attendibili, e contenessero qualche errore, pure aggiunse non poche notizie circa le apparenze presentate da certi pianeti, e soprattutto poi studiò i caratteri visibili della Luna con tal minuziosa accuratezza, da superare molti dei suoi predecessori, facendo inoltre tentativi per dedurre dalle osservazioni i dati per le condizioni fisiche di quella. I suoi due volumi sulla Luna (*Selenotopographische Fragmente*, 1791 e 1802) ed altri scritti minori sono preziosi depositi, a cui i posteri sono grandemente debitori.

CAPITOLO XIII.

Il secolo decimonono.

> « Quanto è più grande la sfera della nostra coltura, tanto è più ampia la superficie di contatto con l'infinità della nostra ignoranza ».
>
> GIOVANNI HOPKINTON.

272. Gli ultimi tre capitoli hanno contenuto alcuni saggi del progresso fatto in tre rami dell'Astronomia, i quali, benchè si colleghino ed esercitino una influenza importante uno sull'altro, tuttavia sono stati studiati da differenti uomini, con metodi diversi e con scopi diversi. La differenza salterà fuori più nettamente, quando si pensi ai lavori dei grandi uomini nei diversi rami dell'Astronomia: Bradley, Laplace ed Herschel. Così grande è la diversità tra loro, che Delambre, nella sua classica storia dell'Astronomia, non parla affatto dell'opera della grande scuola degli astronomi matematici, che furono suoi contemporanei e suoi immediati predecessori; non già che non apprezzasse la importanza di essa, ma perchè egli riguardava i loro lavori come appartenenti piuttosto alle Matematiche che all'Astronomia, mentre Bessel (§ 277) diceva che la funzione dell'Astronomia è " di assegnare nei cieli la posizione che la Luna, i pianeti e le comete hanno occupato, occupano al presente ed occuperanno in avvenire, " escludendo così dal suo scopo quasi tutte le ricerche, in cui era stata spesa l'energia di Herschel.

L'indirizzo dell'Astronomia moderna è nondimeno più liberale nel suo uso e nel suo linguaggio, che quello di Delambre e di Bessel; esso trova che è bene riconoscere tutti e tre i soggetti o gruppi di essi, ai quali si riferiscono, come parti integrali della scienza.

La mutua relazione dell'Astronomia gravitazionale, e di ciò che, per comodo, fu chiamata Astronomia d'osservazione, fu di già discussa nel Cap. X, § 196. Bisognerebbe però osservare che il termine "Astronomia d'osservazione" è stato in questo libro principalmente usato solamente per una sola parte del lavoro astronomico riguardante l'osservazione. L'osservazione ebbe, per lo meno, la stessa parte nel lavoro di Herschel che in quello di Bradley; ma i loro scopi erano, sotto certi riguardi, differenti. Lo scopo principale di Bradley era quello di determinare, con quanta esattezza gli era possibile, le apparenti posizioni delle stelle fisse nella sfera celeste, e le posizioni ed i movimenti dei corpi del sistema solare, poichè l'Astronomia gravitazionale fu intesa in gran parte come sussidiaria dell'Astronomia sperimentale. Herschel, d'altra parte, benchè fosse sicuro delle sue ricerche, per esempio sulla parallasse delle stelle fisse e sui movimenti dei satelliti di Urano, ricerche dell'ordine di quelle di Bradley, si occupava tuttavia assai più delle questioni riguardanti le apparenze, le vicendevoli relazioni e la struttura dei corpi celesti. Quest'ultimo ramo dell'Astronomia può convenientemente chiamarsi *Astronomia descrittiva* (1), quantunque il nome non sia del tutto appropriato ed alle ricerche della struttura fisica ed alla costituzione chimica dei corpi celesti, che sono spesso com-

---

(1) Mi pare si dovrebbe chiamare più propriamente Astrofisica, benchè i Francesi chiamino, ed a torto, detta parte « Astronomia fisica », che in Germania si confonde con « Meccanica celeste ».
(*N. del Tr.*).

presi in tale *voce* e che hanno sì gran parte nell'Astronomia moderna.

273. L'Astronomia gravitazionale e l'Astronomia di osservazioni di precisione, hanno fatto grandi progressi nel secolo XIX, ma nessuna delle due ha subíto una vera rivoluzione ed i progressi fatti sono stati in certo modo di tal natura da essere appena intelligibili, ed ancora meno interessanti, per coloro che non sono esperti in tal materia. E però il cenno dato su di esse in questo capitolo è di carattere del tutto superficiale, e consisterà o nel trattare delle tendenze generali o dei risultati isolati di carattere meno tecnico del resto.

L'Astronomia descrittiva d'altra parte, che può riguardarsi quale creazione di Herschel, come l'Astronomia gravitazionale quale creazione di Newton, non solamente è stata grandemente sviluppata sulle orme tracciate dal suo fondatore, ma si è grandemente estesa — principalmente con l'invenzione dell'analisi spettrale (§ 299) — in campi non solo imprevisti, ma neppur prevedibili cent'anni or sono. Molti dei risultati dell'Astronomia descrittiva — diversamente da quelli dei più antichi rami di essa — sono facilmente intelligibili ed assai interessanti per coloro, che non hanno che scarse cognizioni dell'argomento: in particolar modo sono, in certi limiti, indipendenti dalle idee e dal linguaggio matematico, che tanto dominio presero sull'Astronomia fino a renderla inaccessibile o spiacevole ai più. Cosicchè l'Astronomia descrittiva, non solo può essere apprezzata e studiata, ma i suoi progressi possono essere materialmente coadiuvati da osservatori che non hanno nè grandi cognizioni matematiche, nè una grande supellettile istrumentale.

Perciò, mentre i successori di Laplace e di Bradley sono stati, per la maggior parte, astronomi di professione, preposti ai pubblici Osservatorî od alle Università, una grandissima e pregevole parte dell'opera descrittiva è stata fatta

da dilettanti, come Herschel nella prima parte della sua carriera, i quali hanno dovuto dedicare gran parte delle loro forze a lavoro professionale di altro genere, e che, benchè in alcuni casi provvisti di buoni strumenti, molte altre volte non hanno potuto disporre che di un arredamento istrumentale assai scadente. Per queste ed altre ragioni, uno dei caratteri più notevoli dell'Astronomia del secolo XIX è constituito dal grande sviluppo, particolarmente in Inghilterra e negli Stati Uniti, del generale interessamento per questa scienza, come pure dalla fondazione di molti Osservatorî privati, destinati quasi interamente allo studio di rami speciali dell'Astronomia descrittiva. Il decimonono secolo è perciò stato testimone dell'acquisto di un insieme di cognizioni speciali, che precedentemente non si avevano. E la ricchezza delle cognizioni così acquistate ha fatto progredire la nostra potenza d'interpretazione; e in molti casi la nostra conoscenza di qualche ramo particolare di Astronomia descrittiva consiste da una parte in una immensa serie di accurate osservazioni, e dall'altra in una o più teorie altamente speculative, capaci di spiegare soltanto una piccola porzione dei fatti osservati.

Trattando dei progressi della moderna Astronomia descrittiva, la difficoltà, come dice il proverbio, di vedere il bosco a cagione degli alberi, è grandissima, e sarebbe cómpito senza uscita quello di dare un resoconto, entro i limiti di un solo capitolo, anche dei fatti più importanti aggiunti alle nostre cognizioni; fortunatamente sarebbe anche superfluo, dal momento che si posson trovare in qualunque libro di testo di Astronomia, o in trattati speciali. Tutto ciò che si può fare è di dare qualche cenno delle linee principali, secondo le quali è stato fatto il progresso, e di indicare alcuni risultati generali, che parrebbero fondati sopra basi abbastanza sicure.

274. Il progresso delle osservazioni esatte è stato certamente fondato, per la maggior parte, sui progressi stru-

mentali. Non solamente sono stati fatti grandi miglioramenti nel lavoro estremamente delicato di perfezionare le grandi lenti; ma i circoli graduati e le altre parti, che appartengono alla montatura del telescopio, e dalle quali dipende l'esattezza delle misure, possono ora essere costruiti con molta più esattezza e sicurezza che sul principio del secolo XIX. Sono stati introdotti metodi nuovi per montar telescopi e per fare e registrare osservazioni, tutti cooperando ad una maggior precisione; si è trovato che per certi speciali problemi la fotografia presenta grandi vantaggi, quando si paragona alle osservazioni oculari, quantunque le sue applicazioni più importanti appartengano alla Astronomia descrittiva.

275. La necessità di tollerare varie e ben conosciute sorgenti di errori nelle osservazioni e di diminuire gli effetti dovuti ad errori dipendenti da cause ignote, è stata riconosciuta da Tycho Brahe (Cap. V, § 110), ed ha avuta parte importante nell'opera di Flamsteed e di Bradley (Capitolo X, §§ 198, 218). Sui primi del secolo XIX si fecero ulteriori progressi a tal riguardo. Il metodo dei *minimi quadrati*, creato, indipendentemente l'uno dall'altro, dai due grandi matematici *Adriano Maria Legendre* (1752-1833) di Parigi e *Carlo Federigo Gauss* (1777-1855) di Göttinga (1) non è altro che un metodo sistematico di combinare le osservazioni, le quali porgono valori leggermente diversi uno dall'altro, in modo tale da porgere un risultato il più possibile vicino alla verità. Qualunque misura fisica ordinaria, per esempio, di una lunghezza, benchè eseguita con ogni diligenza, è necessariamente imperfetta; se la stessa

---

(1) Il metodo fu pubblicato da Legendre nel 1806 e da Gauss nel 1809, ma fu inventato e adoperato da quest'ultimo più che 20 anni prima (*).

(*) Carlo Federigo Gauss n. a Brunswig (Braunschweig) 1777. (*N. del Tr.*)

misurazione è fatta parecchie volte, anche sotto identiche condizioni, i risultati generalmente differiscono sempre leggermente fra loro; la questione dunque consiste nel combinare questi risultati in modo da ottenerne uno, che sia, più che si può, soddisfacente. Si è per lungo tempo usato in questo caso semplice di prendere la media aritmetica dei diversi risultati. Ma agli astronomi si presentano continuamente casi molto più complicati, nei quali *due* o più quantità sconosciute devono essere determinate dalle osservazioni di diverse quantità, come, per esempio, allorchè gli elementi dell'orbita di un pianeta (Cap. XI, § 236) debbono essere determinati mediante le osservazioni della posizione del pianeta in tempi differenti. Il metodo dei minimi quadrati dà la regola da applicarsi in tali casi, la quale altro non è che una generalizzazione della regola ordinaria delle medie, nel caso di una sola quantità sconosciuta; e fu perfezionata in tal modo da servire anche ad osservazioni combinate di valore differente, tali, per esempio, le osservazioni fatte da osservatori di abilità diversa o con strumenti diversi, od in condizioni diverse più o meno favorevoli, come lo stato del cielo, ecc. Dà anche un mezzo semplice di provare, mediante la loro vicendevole concordanza, il valore di una serie di osservazioni, e paragonare la loro probabile precisione con quelle di altre serie eseguite sotto altre condizioni. Il metodo dei minimi quadrati ed il caso speciale della “media„ si possono dedurre da una certa ipotesi rispetto al carattere generale delle cause che producono l'errore in questione; ma la supposizione stessa non può essere giustificata *a priori;* d'altra parte i risultati soddisfacenti, ottenuti dalla applicazione del metodo ad una grande varietà di problemi in Astronomia e in Fisica, hanno dimostrato che in moltissimi casi le cause sconosciute di errori devono essere approssimativamente del genere considerato. Il metodo è perciò largamente adoperato in Astronomia e in Fisica, dove è di mas-

sima importanza l'assicurarsi la maggiore esattezza e diligenza.

276. Altri contributi di Legendre alla scienza riguardavano interamente i rami di Matematiche, che hanno poca attinenza con l'Astronomia. Gauss invece fu, per quasi mezzo sècolo, alla direzione dell'Osservatorio di Gottinga; e quantunque il suo lavoro più brillante ed importante sia stato nelle Matematiche pure, fece altresì delle importantissime ricerche sul magnetismo ed altri rami di Fisica, ed anche parecchie ulteriori contribuzioni interessanti l'Astronomia. I suoi furono più che altro processi di calcolo di varie specie, necessari per utilizzare le osservazioni astronomiche, e fra questi il più conosciuto fu il metodo di calcolare l'orbita di un pianeta con tre complete osservazioni della sua posizione, calcolo che fu pubblicato nel suo *Theoria Motus* (1809). Come abbiamo veduto (Cap. XI, § 236), la completa determinazione dell'orbita di un pianeta dipende da sei elementi indipendenti; ogni completa osservazione della posizione del pianeta nel cielo, in un tempo qualunque, dà due quantità, per esempio, l'ascensione retta e la declinazione (Cap. II, § 33); quindi tre complete osservazioni dànno sei equazioni e sono teoricamente sufficienti per determinare gli elementi dell'orbita; ma fino allora non si era sentita la necessità di trattare il problema sotto questa forma. Le orbite di tutti i pianeti, eccetto Urano, erano state gradatamente determinate mediante una serie di osservazioni, che comprendevano secoli; e fu possibile di usare le osservazioni fatte in tempi particolari e così scelti, che certi elementi potessero essere determinati senza bisogno di conoscere con tanta precisione gli altri; e perfino Urano era stato sottoposto ad osservazione per un tempo considerevole, prima che si potesse definire la sua orbita con una certa esattezza; e, nel caso delle comete, non soltanto si sentiva la necessità di possedere una lunga serie di osservazioni, ma il problema fu semplifi-

cato dal fatto, che l'orbita poteva benissimo esser riguardata piuttosto come una parabola che come una ellisse (Cap. IX, § 190). La scoperta del nuovo pianeta Cerere, fatta il 1° gennaio 1801 (§ 294), e l'essere stato perduto di vista poche settimane dopo la sua apparizione, presentava virtualmente un nuovo problema nel calcolo di una orbita. Gauss applicò il suo nuovo metodo — compreso quello dei minimi quadrati — ad osservazioni ben fatte e con esito felice, poichè il pianeta fu riscoperto alla fine dell'anno quasi nella posizione indicata dai calcoli.

277. La teoria della “ riduzione „ delle osservazioni, (Cap. X, § 218) fu per la prima volta ridotta a sistema, e di molto perfezionato, da *Federigo Guglielmo Bessel* (1784-1846), che fu per più di trent'anni direttore del nuovo Osservatorio Prussiano di Königsberga. Il suo primo gran lavoro consiste nella riduzione e nella pubblicazione delle osservazioni di Bradley fatte a Greenwich (Cap. X, § 218). Quest'assunto comprendeva uno studio elaborato di alcune costanti astronomiche, che influivano sui risultati, come sarebbero la precessione, l'aberrazione e la rifrazione, e così pure degli errori degli strumenti di Bradley. Egli applicò a questi errori delle correzioni sistematiche e uniformi, e il risultato fu la pubblicazione, nel 1818, dei *Fundamenta Astronomiae*, un Catalogo delle posizioni di 3222 stelle, come si trovavano nel 1755. Un problema speciale trattato nel corso dell'opera fu quello della rifrazione. Quantunque la completa soluzione teoretica fosse allora, come è presentemente, inattuabile, Bessel elaborò con buon esito una tavola di rifrazioni, che si accordava assai con l'osservazione, e fu presentata in tal forma da rendere facilissima la correzione per una stella quasi senza eccezione. I suoi metodi generali di riduzione — pubblicati finalmente nelle sue *Tabulae Regiomontanae* (1830) — presentarono anche il gran vantaggio di disporre i calcoli necessari in tal modo da poter essere eseguiti con pochissimo lavoro, e

con un processo quasi meccanico tale, che anche un modesto calcolatore può benissimo condurli a compimento. Alla pubblicazione delle osservazioni di Bradley, Bessel aggiunge una nuova serie di osservazioni sue proprie, eseguite fra il 1821 e il 1833, sopra le quali fondò due nuovi Cataloghi, contenenti quasi 62,000 stelle, Cataloghi che furon pubblicati dopo la sua morte.

278. Il più importante dei lavori di Bessel fu la prima e definitiva scoperta della parallasse di una stella fissa.

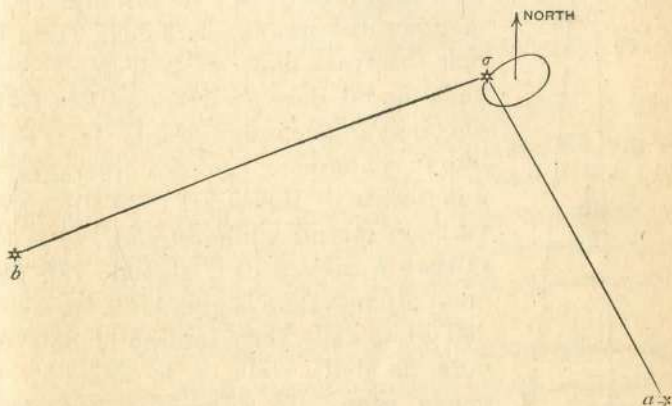



Fig. 85. — *61 Cygno e le due stelle vicine usate da Bessel.*

Abbandonò la prova dello splendore come indicazione di vicinanza, e scelse una stella (61 Cygno), che era appena visibile a occhio nudo, ma che era notevole per il suo ampio movimento proprio (circa 5″ per anno); evidentemente, se una stella si muove con una velocità data (tante miglia all'ora) nello spazio, più essa è vicina all'osservatore e più sembra rapido il suo movimento, così che l'apparente rapidità del movimento, come lo splendore, è una indicazione probabile, ma non assoluta, della prossimità. Avendo adottata una modificazione al metodo differenziale di Galileo (Cap. VI, § 129, e Cap. XII, § 263) misurò, a fre-

quenti intervalli per un anno, la distanza angolare di 61 Cygno dalle due stelle vicine, il cui debole splendore ed immobilità lo fecero credere ad una gran distanza nello spazio. Mediante i cambiamenti nelle distanze σa, σb (nella fig. 85) può essere calcolata la grandezza della piccola ellisse descritta da σ. Il risultato annunziato alla fine del 1838 fu che la stella aveva una parallasse annuale di circa $\frac{1}{3}$ di secondo (Cap. VIII, § 161), cioè che la stella era a tal distanza che la maggior distanza angolare della Terra dal Sole osservata dalla stella (l'angolo $S \sigma E$ nella fig. 86, dove S è il Sole ed E la Terra) era quest'angolo insignificante (1). Il risultato fu confermato, con poca differenza, da una ricerca di Bessel nel 1839-40; ma lavori più recenti addimostrano che la parallasse è minore di $\frac{1}{2}$ secondo (2). Con quest'ultimo valore la grandezza apparente dell'orbita della Terra intorno al Sole veduta da detta stella, è la stessa di un mezzo penny alla distanza di tre miglia o più. In altre parole, la distanza della stella è circa 400,000 volte maggiore di quella del Sole, che è esso stesso distante circa 93,000,000 di miglia. Un miglio è certamente una unità molto piccola per misurare tal distanza; quindi l'esprimere tali distanze mediante il tempo che impiega la luce a compire il suo cammino, è spesso cosa molto conveniente nella

Fig. 86. — *La parallasse di 61* Cygno.

(1) La figura deve essere enormemente esagerata, poichè l'angolo $S \sigma E$ nella figura è di circa 10° e perciò 100,000 volte maggiore.

(2) Il signor R. S. Ball e il defunto prof. Pritchard (§ 279) hanno rispettivamente ottenuto 0.47″ e 0.43″; la media 0.45″ si accetta provvisoriamente come non molto lontana dal vero.

pratica. La velocità della luce essendo di 186,000 miglia al minuto secondo (§ 183), essa vi impiega sei anni per giungere dalla 61 Cygno a noi.

279. La soluzione di Bessel del gran problema, che aveva resi vani gli sforzi di tanti astronomi da Copernico in qua, fu subito seguíta da altri due. Sui primi del 1839, *Thomas Henderson* (1798-1844) annunziò una parallasse di quasi 1″ per la splendida stella α del Centauro, che aveva osservata al Capo, e l'anno dopo *Federigo Guglielmo Giorgio Struve* (1793-1864) ottenne, mediante le osservazioni fatte a Pulkowa, una parallasse di $\frac{1}{4}$ di secondo per *Vega;* ulteriori lavori hanno ridotto questi valori a $\frac{3}{4}$ e $\frac{1}{10}$ di secondo rispettivamente.

Sono state fatte in seguito moltissime altre determinazioni di parallassi. Un interessante cambiamento nel metodo fu fatto dal defunto prof. *Carlo Pritchard* (1808-1893) di Oxford, fotografando la stella, che doveva essere esaminata e quelle ad essa vicine, e poi, misurando la distanza nella fotografia, invece di misurare direttamente la distanza angolare con un micrometro.

Presentemente conosciamo con qualche attendibile grado di probabilità, senza escludere qualche errore, la parallasse di una cinquantina di stelle; ad esempio, α *Centauri* ha una parallasse tale, che se ne inferisce che essa è la stella più vicina, poichè la luce impiega a venire da essa a noi quattro anni. Un gran numero di stelle sono state esaminate con risultati o negativi o incerti, i quali indicano che le loro parallassi sono troppo piccole per essere misurate coi nostri mezzi attuali, e che le loro distanze sono perciò grandissime.

280. Un'infinità di Cataloghi di stelle e di carte stellari — troppo numerose perchè se ne parli particolarmente — sono state fatte nel secolo XIX; tutto ciò indica che è stato conseguito un grande e stabile progresso nel campo delle nostre cognizioni rispetto alle Stelle, e che l'Astro-

nomia si è munita di nuovi materiali per verificare, paragonando lo stato del cielo in epoche differenti, alcune grandezze, come sarebbero i movimenti propri delle stelle ed il valore della precessione. Fra i più importanti bisogna annoverare il gran Catalogo di 324,198 stelle nell'emisfero boreale, conosciuto sotto il nome di *Bonn Durchmusterung*, pubblicato nel 1859-62 dall' allievo di Bessel, *Federigo Guglielmo Augusto Argelander* (1799-1875); questo Catalogo fu esteso (1875-85) da comprendere 133,659 stelle in una porzione dell'emisfero Australe dall'astronomo *Eduardo Schönfeld* (1828-1891); e più recentemente il dottor Gill ha eseguito al Capo delle osservazioni fotografiche del resto dell'emisfero Australe, che furono ridotte a forma di Catalogo (pubblicato la prima volta nel 1896) per cura del prof. *Kapteyn* di Gröningen. Non si creda che le posizioni delle stelle in questi Cataloghi siano del tutto esatte, e per molti scopi è importante conoscere, con la massima esattezza, la posizione di un numero minore di stelle. La più grande impresa di questo genere, che è stata assunta dalla Società astronomica tedesca nel 1867, ha per oggetto la compilazione, con la cooperazione di molti Osservatorî, di Cataloghi di quasi 130,000 stelle contenute nei Cataloghi approssimati di Argelander e di Schönfeld; presentemente è stata pubblicata appena la metà di un tal lavoro (1).

Il più gran progetto fatto fin qui dell'esame del cielo è la carta fotografica, unitamente ad un Catalogo meno esteso, basato su di essa, la cui compilazione fu decisa nel Congresso internazionale tenuto a Parigi nel 1887. Tutto il cielo è stato diviso fra 18 Osservatorî che sono sparsi

---

(1) L'autore si riferisce al 1898. Oggidì sono stati pubblicati tutti i Cataloghi che riguardano l'emisfero boreale, meno uno, ed è cominciata la pubblicazione dei Cataloghi riguardanti l'emisfero australe. (*N. del Tr.*)

in tutte le parti del mondo, da Helsingfors nel Nord a Melbourne nel Sud, ed ognuno dei quali sta ora prendendo fotografie con strumenti virtualmente identici. È stato giudicato che la carta completa, la quale dovrà contenere stelle della 14ª grandezza (1), conterrà circa 20,000,000 di stelle, delle quali ne saranno altresì catalogate circa 2,000,000 (2).

281. Un altro gran problema — quello della distanza del Sole — può essere studiato convenientemente sotto il punto di vista dell'Astronomia d'osservazione.

I passaggi di Venere (Cap. X, §§ 202, 227), che si verificarono nel 1874 e nel 1882, furono ambedue estesamente osservati, supplendo con la fotografia ai vecchi sistemi dell'osservazione del tempo, e con misure dirette micrometriche delle posizioni di Venere durante il suo passaggio.

Il metodo di cercare la distanza del Sole, osservando Marte in opposizione (Cap. VIII, § 161), è stato usato in molte occasioni con buon esito, principalmente dal dott. Gill all'isola Ascensione nel 1877. Un metodo originariamente adoperato da Flamsteed e rimesso in vigore nel 1857 da *Sir Georgio Biddell Airy* (1801-1892), il defunto astronomo reale, fu adottato in questa occasione. Per determinare la parallasse di un pianeta devono esser fatte osservazioni da due luoghi differenti, ad una distanza conosciuta; generalmente si eseguiscono da due diversi Osservatorî, distanti l'uno dall'altro il più possibile in latitudine. Airy fece osservare che si poteva raggiungere lo stesso scopo, facendo uso di un solo Osservatorio, con la condizione che le osservazioni fossero fatte ad intervalli di alcune ore, poichè la rotazione della Terra intorno al suo asse in quel tempo

(1) Una stella media della 14ª grandezza è 10,000 volte più debole di una della 4ª grandezza, che è alla sua volta 150 volte meno brillante di Sirio. (Vedi § 306).

(2) Concorrono in Italia a questo lavoro l'Osservatorio astrofisico di Catania e la Specola Vaticana. (*Nota d. Tr.*)

produce uno spostamento, di cui si conosce il valore, nella posizione dell'osservatore, e così fornisce la necessaria linea di base. L'apparente movimento della posizione del pianeta potrebbe essere più facilmente determinata misurando (col micrometro) la sua distanza dalle stelle fisse circonvicine. Questo metodo (conosciuto col nome di *metodo diurno*) ha il gran vantaggio, fra gli altri, di essere semplice nell'applicazione, tutto ciò che occorre essendo un solo osservatore e un solo strumento.

Il metodo diurno è stato pure applicato con felice esito per determinare la distanza del Sole, utilizzando le osservazioni dei pianetini (§ 294). Avvolgendosi, come essi fanno, fra Marte e Giove, giacciono bensì al di là di quello, fatta eccezione di Eros in circostanze speciali, ma presentano il vantaggio di non avere disco apprezzabile, d'onde le misure con stelle vicine si compiono più rigorosamente. Questo metodo di servirsi dei pianetini fu primieramente suggerito dal prof. *Galle* di Berlino nel 1872, ed osservazioni recenti di pianetini come Vittoria, Saffo ed Iride, nel 1888-89, fatte in molti Osservatorî, sotto la direzione generale del dott. Gill, hanno condotto alle determinazioni le più soddisfacenti della distanza del Sole.

282. Si sapeva dagli astronomi matematici del secolo XVIII che la distanza del Sole poteva ottenersi dalla conoscenza di varie perturbazioni dei componenti il sistema solare: e Laplace aveva dedotto un valore della parallasse solare dalla teoria lunare. A rendere più importanti questi metodi hanno contribuito molto i progressi fatti dall'Astronomia gravitazionale e dall'osservazione dei pianeti e della Luna durante il secolo XIX. Una certa irregolarità nel movimento della Luna, conosciuta sotto il nome di *Ineguaglianza parallattica* ed un'altra nel movimento del Sole, chiamata l'*Equazione lunare,* dovuta allo spostamento della Terra, a causa dell'attrazione della Luna, ambedue dipendono dal rapporto delle distanze del Sole e

della Luna dalla Terra; potendo osservare il valore di ognuna di queste disuguaglianze, allora si può dedurre la distanza del Sole, poichè la distanza della Luna è assai esattamente conosciuta. Applicando virtualmente il primo di questi metodi, Hansen (§ 286) nel 1854, durante una laboriosa investigazione della teoria lunare, si assicurò che il valore attuale della distanza del Sole era realmente troppo grande, e Leverrier (§ 285) confermò la correzione col secondo metodo nel 1858.

Di più, certi cambiamenti nelle orbite dei due nostri vicini, i pianeti Venere e Marte, sappiamo che dipendono dal rapporto delle masse del Sole e della Terra, e quindi possono avere de' legami, per il principio gravitazionale, con la quantità cercata. Leverrier nel 1861 indicò, che i movimenti di Venere e di Marte, nonchè quelli della Luna, erano in disaccordo con la opinione accettata circa la distanza del Sole, e per conseguenza elaborò più rigorosamente il metodo e calcolò (1872) i valori della parallasse. Gli spostamenti da osservarsi sono assai piccoli ed il determinarli esattamente non è cómpito facile; ma sono ambedue secolari (Cap. XI, § 242), così che nel corso del tempo saranno suscettibili di essere esattissimamente misurati. Il metodo di Leverrier, che anche ora è pregevolissimo, deve, col tempo, superare necessariamente tutti quelli fin qui conosciuti; è cosa difficile, p. es., immaginare che i passaggi di Venere, che accadranno nel 2004 e nel 2012, abbiano valore alcuno per le determinazioni della distanza del Sole.

283. Un altro metodo, in due forme poco dissimili, è salito in credito in questo secolo. Lo spostamento di una stella per causa dell'aberrazione (Cap. X, § 212) dipende dal rapporto della velocità della luce e di quella della Terra nella sua orbita intorno al Sole, e le osservazioni dei Satelliti di Giove, secondo il metodo di Roemer (Cap. VIII, § 162), dànno la *equazione della luce*, ossia il tempo impiegato dalla luce per giungere dal Sole alla Terra. L'una

o l'altra di queste due quantità astronomiche — delle quali l'aberrazione è quella conosciuta con più esattezza — può essere adoperata per determinare o la velocità della luce, allorchè sieno conosciute le dimensioni del sistema solare, o viceversa. Nessun metodo indipendente per determinare la velocità della luce si conosceva fino al 1849, quando *Hippolyte Fizeau* (1819-1896) inventò e perfezionò un metodo ingegnoso.

Altri metodi sono stati da quel tempo in poi inventati, e tre serie di esperimenti, relativamente recenti del signor *Cornu* in Francia (1874 e 1876), del dott. *Michelson* (1879) e del prof. *Newcomb* (1880-82) negli Stati Uniti si accordarono assai bene, e si combinarono nel fissare la velocità della luce a circa 186,300 miglia (299,800 chilometri) per minuto secondo: e la parallasse solare che risulta da ciò per mezzo dell'aberrazione è press'a poco 8,″8 (1).

284. Il valore di Encke della parallasse del Sole, 8″,571 dedotto dai passaggi di Venere (Cap. X, § 222) nel 1761 e nel 1769 e pubblicato nel 1835, che corrispondeva alla distanza di circa miglia 95,000,000, fu accettato in generale fino alla metà del secolo XIX. Dipoi i metodi gravitazionali di Hansen e di Leverrier, le prime determinazioni sulla velocità della luce, e le osservazioni fatte nell'opposizione di Marte del 1862, tutto ciò condusse ad un valore molto più grande della parallasse; un nuovo esame delle osservazioni del secolo XVIII dimostrarono che valori più grandi di quelli di Encke potevano facilmente dedursi da esse; e per qualche tempo — da quasi il 1860 in qua — fu in uso generale una parallasse di circa 8″.95, corrispondente alla distanza, piuttosto più che meno, di 91,000,000

---

(1) La velocità della luce di Newcomb, e la costante di aberrazione di Nyrén (20″ 4921), dànno 8″,794; la costante di aberrazione di Struve (20″,445), quella di Loewy (20″,447) e quella di Hall (20″,454), ognuna dà 8″,81.

di miglia. Vari piccoli errori però nei nuovi metodi furono scoperti, e il probabile valore della parallasse di nuovo diminuì. Tre dei più sicuri metodi, il metodo diurno, applicato a Marte, nel 1877, lo stesso applicato ai pianetini nel 1888-89, e l'aberrazione, si uniscono per dar valori che non differiscono da 8″,80 di più di due o tre centesimi di secondo. I risultati degli ultimi valori di Venere, le pubblicazioni e le discussioni dei quali sono state diffuse già da parecchi anni, assegnano un valore della parallasse qualche poco più grande. I più degli Astronomi sembrano accordarsi che una parallasse di 8″,8 corrispondente a una distanza piuttosto meno di 93,000,000 di miglia, rappresenti assai bene i veri valori.

285. L'accuratezza minuziosa delle osservazioni moderne è bene illustrata dalla scoperta recente della variazione nella latitudine di diversi Osservatorî. Le osservazioni fatte a Berlino nel 1884-85 indicavano una piccolissima variazione nella latitudine; serie speciali di osservazioni per la verificazione di questa, furono iniziate in diversi Osservatorî europei, e dopo a Honolula e a Cordoba. Come risultato si ottenne una periodica variazione nella latitudine ammontante a $\frac{1}{2}$ secondo. Per latitudine si intende (Cap. X, § 221) l'angolo che la verticale di un luogo fa con l'Equatore, che è lo stesso che l'elevazione del polo sull'orizzonte, e conseguentemente è alterata da qualunque cambiamento nell'Equatore, e perciò da un cambiamento nella posizione dei poli della Terra, ovvero dell'estremità dell'asse intorno al quale essa gira.

Il dott. *S. C. Chandler* dimostrò con buon successo (1891 e seguenti) che le osservazioni in questione potevano essere in gran parte spiegate, supponendo che l'asse della Terra sottostia a un piccolissimo cambiamento di posizione, in modo che ciascun polo della Terra descriva un circolo intorno alla sua posizione media in quasi 427 giorni, non mai deviando da essa più di 30 piedi. Si sa dalla teoria dinamica che

un corpo che ruota, quale è la Terra, può essere in tal modo spostato, ma che, se la Terra fosse perfettamente rigida, il periodo sarebbe di 306 giorni invece che di 427. La differenza fra i due valori è stata ingegnosamente usata come testimonianza del quanto la Terra può cedere — come un solido elastico — alle varie forze, che tendono a farle pressione.

286. Tutti i grandi problemi dell'Astronomia gravitazionale sono stati di nuovo studiati da Laplace in poi, e sempre nuovi passi sono stati fatti verso la loro soluzione.

La trattazione di Laplace della teoria lunare fu prima sviluppata da *Marie Charles Théodore Damoiseau* (1768-1846), le cui *Tavole della Luna* (1824 e 1828) furono di uso generale per qualche tempo.

Speciali problemi della teoria della Luna e dei pianeti furono considerati da *Simone Dionisio Poisson* (1781-1840), più conosciuto come autore di lavori su altri rami della Fisica Matematica che sull'Astronomia. Una teoria della Luna elaborata e particolareggiata, trattata secondo i metodi generali di Laplace, fu più tardi pubblicata da *Giovanni Antonio Amedeo Plana* (1781-1869) nel 1832, ma senza tavole (1). Una discussione più generale di ambedue le teorie, lunare e planetaria, la più completa fino allora apparsa, fu pubblicata da *Filippo Gustavo Doulcet de Pontécoulant* (1795 1874) nel 1846, sotto il titolo di *Théorie Analytique du Système du Monde*, e una incompleta teoria lunare simile alla predetta fu pubblicata da *Giovanni Guglielmo Lubbock* (1803-1865) nel 1830-34.

Un grande progresso nella teoria lunare fu fatto da *Pietro Andrea Hansen* (2) (1795-1874) di Gotha, che pub-

---

(1) Giovanni Plana, n. a Voghera nel 1781, morto a Torino nel 1874. (*N. del Tr.*)

(2) Hansen nacque a Tondern nello Schleswig nel 1795 e morì a Gotha nel 1874. (*N. d. Tr.*)

blicò nel 1838 e nel 1862-64 i trattati comunemente conosciuti rispettivamente (1) per il *Fundamenta* e il *Darlegung* (2), e pubblicò nel 1857 delle tavole sul movimento della Luna tanto esatte che le differenze fra le tavole e le osservazioni nel secolo 1750-1850 non furono mai più grandi di 1″ o 2″. Queste tavole furono subito usate per i calcoli dal *Nautical Almanach* e da altri periodici dello stesso genere, e con qualche modificazione sono state adoperate fino ai nostri giorni.

Una teoria completamente nuova della Luna — di grande interesse matematico ed egualmente complessa — fu pubblicata da *Carlo Delaunay* (1816-1872) nel 1860 e nel 1867. Disgraziatamente l'autore morì prima di ridurre in tavole il suo lavoro.

Il prof. Newcomb di Washington (§ 283) ha reso segnalati servigi alla teoria lunare — come pure ad altri rami dell'Astronomia — con molti delicati e intricati calcoli; il più conosciuto è il confronto delle tavole di Hansen con l'osservazione, e le conseguenti correzioni di dette tavole.

Nuovi metodi di trattare la teoria lunare furono adoperati dal defunto prof. *Giovanni Couch Adams* di Cambridge (1819-1892), e metodi simili sono stati sviluppati dal dottor *G. W. Hill* di Wahington, però non tanto sviluppati da essere di utilità per le tavole; essi interessano più dal lato matematico che dal lato pratico; benchè attualmente si stia traendo i necessari particolari; e questi e altri metodi simili certamente condurranno ad una semplificazione della teoria lunare.

287. È degno di menzione un punto speciale della teoria lunare. L'accelerazione secolare del movimento medio della

---

(1) *Fundamenta Nova Investigationis Orbitae verae quam Luna perlustrat*

(2) *Darlegung der theoretischen Berechnung der in den Mondtafelu angewandten Störungen.*

Luna, che aveva imbarazzato gli astronomi fin dalla sua prima scoperta di Halley (Cap. X, § 201), ebbe, come vedemmo (Cap. XI, § 240), una spiegazione nel 1787 dalla opera di Laplace. Adams, riprendendo i calcoli, si avvide che certe quantità omesse da Laplace come di poca importanza, in realtà avevano un effetto sensibile sul risultato, così che la quantità che esprimeva il movimento crescente della Luna, si rilevò essere fra i 5″ e 6″ invece di 10″, come aveva trovato Laplace, e come risultava dall'osservazione. La correzione fu disputata da principio tra diverse autorità competenti, ma fu confermata, indipendentemente dalla loro confutazione, da Delaunay, ed ora è universalmente accettata. La Luna perciò sembra avere un certo piccolo aumento nella velocità, che la teoria della gravitazione non sa spiegare. Una ingegnosa, ma non sicura spiegazione, fu data da Delaunay nel 1865. Era stato notato da Kant che l'*attrito delle maree*, cioè l'attrito esistente fra la parte solida della Terra e l'Oceano, come risultato del movimento della marea di quest'ultimo, potrebbe avere l'effetto di reprimere o di frenare fino ad un certo punto il movimento di rotazione della Terra; ma siccome l'effetto sembrava fosse piccolissimo da non poter essere sottoposto a calcoli precisi, così fu generalmente trascurato. Nondimeno si tentò calcolarlo, e nel 1853 Guglielmo Ferrel (1817-1891) dimostrò di più che siccome il periodo di rotazione della Terra — il giorno — è la nostra unità fondamentale di tempo, la riduzione della quantità di rotazione trae seco l'aumento in durata della nostra unità di tempo e conseguentemente produce un apparente aumento di velocità in ogni altro moto, calcolato in funzione di questa unità. Delaunay indipendentemente giunse alla stessa conclusione; e dimostrò che l'attrito delle maree poteva benissimo produrre il cambiamento nel movimento della Luna, come era stato appunto spiegato; se questa spiegazione fosse la vera, il movimento osservato della Luna da-

rebbe la misura dell'effetto dell'attrito della marea. La piccolezza della quantità che vi entra è dimostrata dal fatto, che l'allungarsi del giorno per $\frac{1}{10}$ di secondo in 10,000 anni basta per spiegare l'accelerazione in questione. Aggiungi che non vi è certezza sull'ammontare di questa accelerazione (10″), dedotta in parte dalle osservazioni di eclissi antichi, e può ben essere che una parte di essa dipenda da qualche più involuto effetto della gravitazione, che non sia quello messo in luce da Laplace, e fors'anco da altra causa fin qui non sospettata.

288. La maggior parte degli scrittori che abbiamo menzionato, che hanno trattato la teoria lunare, hanno anche dato contributi alla teoria planetaria; ma, più che altro, tale teoria progredì dopo la morte di Laplace per opera del matematico francese *Urbano Giovanni Giuseppe Leverrier* (1811-1877), del quale abbiamo già riportato i metodi per determinare la distanza del Sole (§ 282). Il suo primo scritto importante sull'Astronomia (1839) fu una discussione sulla stabilità (Cap. XI, § 245) del sistema formato dal Sole e dai tre più grandi e più distanti pianeti allora conosciuti: Giove, Saturno ed Urano. In seguito rifece la teoria del movimento del Sole e di ognuno dei principali pianeti, e costruì le tavole appartenenti ad essi, che subito superarono quelle fatte sino allora, e sono ora adoperate come base dei principali calcoli planetari nel *Nautical Almanach*, ed in altri almanacchi astronomici. Leverrier non riuscì a mettere d'accordo soddisfacentemente osservazione e teoria nel caso di Mercurio, pianeta che ha sempre preoccupato gli astronomi; e fu proclive a dare la spiegazione delle differenze, attribuendole all'influenza o di un pianeta che si muova fra Mercurio ed il Sole, o dei diversi corpi più piccoli analoghi ai pianetini (§ 294).

Ugo Gyldén (1841-1896) ha trattato ricerche di un carattere più astratto sulla teoria planetaria, connesse ai recenti progressi nelle Matematiche pure, mentre uno dei più

eminenti matematici puri dei nostri giorni, *Enrico Poincaré* di Parigi, ha rivolta la sua attenzione all'Astronomia, e si è dedicato ad investigazioni, che, quantunque al presente non possano trovare immediata applicazione all'Astronomia pratica, pure getteranno forse nuova luce sopra importanti e generali problemi della Meccanica celeste.

289. Un trionfo memorabile dell'Astronomia gravitazionale, la scoperta di Nettuno (1), è stata descritta così spesso

(1) Poichè questa scoperta costituisce la prova definitiva della validità della legge di Newton e la sua data (23 settembre 1846) segna un'importante epoca nella storia dell'Astronomia gravitazionale, piacemi di dar qui altre notizie intorno ad essa. Nel 1829 Hansen scrisse a Bouvard che, « per spiegare le differenze, che esistevano fra le osservazioni quotidiane e le Tavole di Urano, bisognava ricorrere alle perturbazioni di due pianeti incogniti ». Airy nel 1838 e Bessel nel 1840 riconobbero che la differenza fra le osservazioni antiche e le moderne già raggiungeva un minuto intiero e che aumentava in un anno di 7 ad 8 secondi. Bessel, in una lettera dell'8 maggio 1840 ad A. de Humboldt, scriveva: « Certo arriverà un momento, in cui la soluzione del problema sarà forse fornita da un nuovo pianeta, i cui elementi sarebbero riconosciuti dietro la sua azione sopra Urano e verificati mediante l'azione che esso eserciterebbe su Saturno ».

Sino dal 1821, in seguito alla pubblicazione delle Tavole di Bouvard, avevano dunque gli astronomi seriamente messa innanzi la questione di sapere se, per ispiegare le anomalie osservate, vi fosse bisogno di ricercare al di là di Urano un pianeta perturbatore. Ma Olbers, basandosi sull'ipotesi di Laplace, riguardante la formazione del nostro sistema planetario, dichiarò che Urano occupava positivamente i confini del nostro mondo, e che non vi era nessun pianeta da ricercare al di là.

Adams studiava il problema proposto da Bessel; ed il 21 ottobre 1845 fu in grado di comunicare all'astronomo Reale, Giorgio Airy, i calcoli numerici degli elementi e della massa del pianeta incognito insieme all'indicazione della sua vera posizione nel cielo. Adams non aveva ragione alcuna di lagnarsi del modo col quale i suoi lavori furono accolti dall'astronomo ufficiale, poichè essi ebbero conveniente ed indispensabile aiuto; però il loro scopo fu con-

e così compiutamente altrove (2), che basterà darne qui un brevissimo cenno. Subito dopo la scoperta di Urano (Ca-

---

siderato come chimerico. Sir George Airy scriveva: « I have always considered the correctness of a distant mathematical result to be a subject rather of moral than of mathematical evidence »; e la novità stessa dell'argomento aveva gettato già su esso il sospetto di improbabilità. Per lo addietro ogni problema sulle perturbazioni planetarie era stato profondamente studiato, ma il metodo inverso non era stato applicato, e può benissimo essere stato giudicato non adatto; poichè la difficoltà di determinare le perturbazioni prodotte da un dato pianeta è ben poca cosa in confronto alla difficoltà di trovare un pianeta mediante le perturbazioni risultanti; e Laplace stesso può benissimo essersi sgomentato davanti ad essa; ed ora un tal problema veniva studiato semplicemente come un primo saggio di dinamica celeste. Adams poi, in un modo del tutto inesplicabile, trascurò di rispondere ad una questione che Airy considerava dal punto di vista di un *experimentum crucis*, come sostegno della nuova teoria; nè fece alcun passo per ottenere la pubblicazione dei suoi lavori, chè forse era più ansioso di meritare che di assicurarsi; e così la ricerca di Adams rimase sepolta nell'oscurità.

Ora è noto che nell'autunno del 1845 era stata istituita una ricerca per il corpo lontano, la cui esistenza era stata così meravigliosamente preannunziata; esso sarebbe stato trovato a circa tre volte e mezzo il diametro lunare (1° 39′) dal luogo assegnato da Adams.

Leverrier fu più ardito e fortunato di Adams. Le due Memorie che egli presentò il 16 settembre ed il 14 ottobre 1839 all'Accademia di Francia subito mostrarono che egli era il degno successore di Lagrange e di Laplace. Nel 1845 Arago aveva richiamato l'attenzione di Leverrier sulla difficoltà uraniana; allora Leverrier mise da banda certe intricate ricerche cometarie, che in quell'epoca stava facendo, per obbedire con ossequiosa prontezza agli ordini del Capo astronomo di Francia. Nella prima Memoria sul soggetto, comunicata all'Accademia il 1° novembre 1845, egli dimostrò che tutte le cause note di perturbazione, da considerarsi per ispiegare le anomalie di Urano, erano inadeguate. In una seconda Memoria (1° giugno 1846) dimostrò che solo un corpo esterno, che occupa in una certa epoca una determinata posizione nello Zodiaco, po-

pitolo XII, § 253) fu trovato che il pianeta era evidentemente stato osservato, quantunque non riconosciuto come un pianeta, fin dal 1690 e in parecchie occasioni in seguito.

Quando furono fatti i primi tentativi per calcolare diligentemente la sua orbita, fu trovata cosa impossibile conciliare le prime osservazioni con le ultime, e nelle tavole di Bouvard (Cap. XI, § 217 nota), pubblicate nel 1821, le prime osservazioni non furono accettate. Ma perfino questa misura vigorosa non rimosse l'inconveniente; le discrepanze fra le posizioni osservate ed i calcolati apparvero subito e crebbero di anno in anno. Diverse spiegazioni furono date, e più di un astronomo presentò l'ipotesi che le irregolarità potessero essere causate dall'attrazione di un pianeta fino allora sconosciuto. Il primo serio tentativo per dedurre dalle irregolarità nel movimento di Urano la posizione di

---

teva produrre gli effetti osservati. In una terza Memoria (31 agosto 1846) egli assegnò l'orbita del corpo disturbatore, ed annunziò che esso sarebbe stato veduto come un oggetto avente un sensibile disco, brillante come una stella di ottava grandezza. Questa Memoria porta il titolo: « Sur la planète qui produit les anomalies observées dans les mouvements d'Uranus; determination de sa masse de son orbite et de sa position actuelle ». Come si vede, la questione era prossima ad essere definitivamente risoluta: il 23 settembre 1846 il prof. Galle dell'Osservatorio di Berlino ricevè una lettera da Leverrier, con cui questi richiedeva il suo aiuto per la parte telescopica della ricerca, la quale era stata già analiticamente compiuta. Il Galle, la stessa notte, diresse il suo riflettore verso il cielo, e vide, a circa meno di un grado dal luogo indicato, un oggetto, che misurava quasi tre secondi di diametro, ed era precisamente *Nettuno*. (*N. d. Tr.*).

(2) Per esempio nella *History of Physical Astronomy* di Grant, nelle *Outlines of Astronomy* di Herschel, nella *History of Astronomy in the Nineteenth Century* di Miss Clerk, e nelle *Memorie* del Di Glaisher preposte al primo volume della Raccolta degli scritti di Adams.

questo corpo ipotetico, fu fatta da Adams (1) subito dopo che ebbe presa la laurea (1843). Nell'ottobre del 1845 egli aveva con buon successo ideata un'orbita per il nuovo pianeta, al quale assegnò una posizione che differiva, come sappiamo, meno di 2° (quattro volte il diametro della Luna) dalla sua vera posizione. Non fu iniziata però nessuna ricerca telescopica. In quel medesimo tempo Leverrier, indipendentemente da lui, fece sua questa ricerca, e il 3 agosto 1846 egli, come Adams, ebbe definitivamente determinata l'orbita e la posizione di quel corpo disturbatore. Il 23 del seguente mese il dott. Galle dell'Osservatorio astronomico di Berlino fu richiesto da Leverrier di fare le op-

---

(1) Vedi l'*Astronomia del secolo* XIX del CELORIA:

« La scoperta di Nettuno da parte di Leverrier produsse ad Adams il dolore più grande, il disinganno più amaro che scienziato al mondo forse mai abbia provato; poichè egli fin dal 1844 lavorava intorno alla teoria di Urano, e nell'ottobre del 1845 scriveva a G. B. Airy (1801-1892), astronomo reale d'Inghilterra e direttore dell'Osservatorio di Greenwich, una lettera nella quale, affermando che le irregolarità del movimento di Urano potevano derivare da un nuovo pianeta ad Urano esteriore, dava ad un tempo di questo nuovo e supposto pianeta gli elementi; e, di ciò non pago, analoga comunicazione faceva a G. Challis (1803-1882), astronomo di Cambridge, il quale per parte sua proponevasi di cercare il nuovo pianeta fra le stelle del cielo. — Se Airy e Challis avessero avuto confidenza intera nei calcoli di Adams, è certo che a questi sarebbe appartenuta per sempre la gloria della nuova scoperta; ma essi guardarono i risultati di Adams con una diffidenza mal celata, ad Adams non prestarono tutta la loro energica cooperazione; e solo quando Leverrier ebbe incominciato la pubblicazione delle sue ricerche, quando si avvidero che i risultati di Leverrier coincidevano quasi esattamente con quelli di Adams, a loro noti da più che sette mesi, sorsero a rivendicare per il loro concittadino l'onore di tanta scoperta. Era troppo tardi; e Leverrier fu, a ragione, ritenuto come il vero scopritore del nuovo pianeta, e ad Adams rimase la gloria di avere egli pure, cotemporaneamente e nella tranquilla solitudine del suo studio, risolto il problema posto agli astronomi dalle irregolarità del moto di Urano. (*N. d. Tr.*)

portune ricerche per questo corpo, e nella medesima sera Galle trovò vicinissimo alla posizione indicata da Leverrier, un corpo nuovo, che presentava un piccolo disco planetario, che fu presto riconosciuto per quel nuovo pianeta, che ora è conosciuto col nome di Nettuno. È da notarsi qui che l'errore nel movimento di Urano, che condusse a questa meravigliosa scoperta, non mai superò i 2′, quantità impercettibile alla vista comune; così che se due stelle fossero una accanto all'altra nel cielo, una nella vera posizione di Urano, e una nella posizione calcolata, data dalle tavole di Bouvard, un osservatore di vista ordinaria vedrebbe una sola stella.

290. Le tavole lunari di Hansen e del prof. Newcomb, e le tavole solari e planetarie di Leverrier, del prof. Newcomb e del dott. Hill rappresentano i movimenti dei corpi, trattati con molto maggior esattezza che le tavole corrispondenti, basate sull'opera di Laplace, come precisamente queste erano molto più esatte che quelle di Eulero, di Clairant e di Halley. Ma l'accordo fra la teoria e l'osservazione non è del tutto perfetto, e le differenze sono in alcuni casi maggiori di quel che si possono spiegare attribuendole alla necessaria imperfezione delle nostre osservazioni.

I due casi più salienti sono forse quelli di Mercurio e della Luna. La spiegazione di Leverrier sulle irregolarità del primo (§ 288) non è stata mai nè pienamente giustificata, nè generalmente accettata; e la posiziane della Luna, come è data dal *Nautical Almanach* e in pubblicazioni simili, è calcolata mediante certe correzioni delle tavole di Hansen, che furono dedotte dal prof. Newcomb dalla osservazione, e non hanno quindi giustificazione alcuna nella teoria della gravitazione (1).

---

(1) Le correzioni empiriche di Newcomb con lo scorrere del tempo si rivelarono imperfette, e l'illustre astronomo sta ora occupato al loro miglioramento. (*N. del Tr.*)

291. Il calcolo delle orbite cometarie è divenuto un argomento di qualche importanza durante il secolo XIX, dovuta alla scoperta di molte comete che s'avvolgono intorno al Sole in un periodo di tempo relativamente breve. La cometa di Halley (Cap. XI, § 231) riapparve debitamente nel 1835; passando il perifelio entro pochi giorni dai tempi predetti da tre indipendenti calcolatori, e può essere con

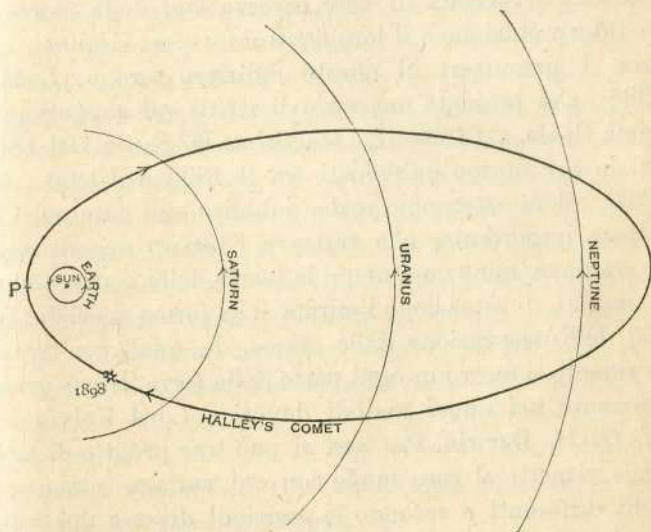



Fig. 87. — *L'orbita della cometa di Halley.*

tutta fiducia aspettata verso il 1910. Quattro altre comete ora sappiamo che, al pari di quella di Halley, si muovono in orbite ellittiche allungate, compiendo una rivoluzione fra i 70 e gli 80 anni; due di queste sono state vedute riapparire due volte; quella che porta il nome di Olbers nel 1815 e nel 1887, e la cometa di Pons-Brooks nel 1812 e nel 1884. Quattordici altre comete con periodi, che variavano fra i 3 anni e $^1/_3$ (quella di Encke) e 14 anni (quella di Tuttle), sono state vedute riapparire più di una volta; circa una dozzina hanno periodi calcolati a meno di un se-

colo; e 20 o 30 altre si muovono in orbite che sono decisamente ellittiche, quantunque i loro periodi sieno più lunghi, e per conseguenza non conosciuti con certezza. Nell'insieme le orbite di circa 230 o 240 comete sono state calcolate, benchè alcune siano incertissime.

292. Nella teoria delle maree il primo progresso importante fatto dopo la pubblicazione delle *Mécanique Céleste*, fu un'ampia raccolta di vere osservazioni delle maree, la loro interpretazione e il loro confronto con i risultati della teoria. I precursori di questo indirizzo furono: *Lubbock* (§ 286), che presentò una serie di scritti sul soggetto, alla Società Reale, nel 1830-37, e *Guglielmo Whewell* (1794-1866), i cui lavori furono pubblicati fra il 1833 e il 1851. *Airy* (§ 281), allora astronomo reale, pubblicò egli pure nel 1845 un'opera importante, che trattava l'intiero argomento, e che studiava minuziosamente la teoria delle maree sui bacini liquidi, di estensione limitata e di forma speciale. L'analisi dell'osservazione delle maree, le quali con grande giovamento si fecero in ogni parte della terra, trovò grande incremento nei nuovi metodi dovuti a Lord Kelvin e al prof. G. H. Darwin. Per essi si può trar profitto di molte notizie rispetto al vero modo con cui variano le maree in luoghi differenti e secondo le posizioni diverse del Sole e della Luna.

In questi ultimi anni è stato fatto pure un attento esame degli effetti prodotti dall'attrazione del Sole e della Luna — analoghi alle maree dell'oceano — sulla Terra stessa. Nessun corpo è perfettamente rigido, e le forze in questione devono perciò produrre qualche effetto simile a quello delle maree. Il problema fu dapprima studiato da Lord Kelvin nel 1863 e dipoi dal prof. Darwin e da altri. Quantunque non si abbiano per ora che scarsi risultati numerici definiti, il lavoro fin qui fatto mostra la relativa piccolezza di queste maree di materia solida e la conseguente rigidità della Terra; il qual resultato è interessante,

perchè è connesso con le ricerche geologiche rispetto alla natura dell'interno della Terra.

Altrove abbiamo parlato degli studi sull'attrito delle maree (§ 320).

293. La serie delle proposizioni riguardanti la stabilità del sistema solare, determinate da Lagrange e da Laplace (Cap. XI, §§ 244, 245), riguardate come proposizioni astratte, matematicamente deducibili da certe definite ipotesi, sono state confermate ed estese da più recenti matematici come Poisson e Leverrier; ma da esse il pretendere di dedurre, dalle condizioni presenti del sistema solare, il suo stato fino a un tempo futuro indefinito, ottiene meno assentimento ora che prima. La tendenza generale del pensiero scientifico si è pronunziata per il pieno e intero riconoscimento del carattere soltanto approssimativo e probabile perfino nelle parti della nostra scienza, *migliori e più accettate;* " certo " " esatto " " sempre " sono parole che nel vocabolario scientifico vanno scomparendo, e non sono ormai accettate che soltanto come abbreviazioni. Le proposizioni che credonsi — o sono comunemente interpretate come " esatte " — e valide per il futuro illimitato, sono perciò riguardate con abbastanza sfiducia, a meno che non siano pure astrazioni.

Nel caso delle particolari proposizioni in questione il progresso dell'Astronomia e delle scienze fisiche ha dato molto impulso e valore ad alcuni principî per i quali le ipotesi ammesse da Lagrange e da Laplace non si accordano con l'attuale sistema solare.

Si ammettevano rispetto alla stabilità teoremi di questa specie, cioè che i corpi del sistema solare sono perfettamente rigidi; in altre parole, i moti relativi fra l'una e l'altra delle parti di ogni corpo erano del tutto trascurati. Tanto le ordinarie maree dell'oceano quanto quelle dei corpi solidi, ai quali si sono rivolte le ricerche moderne, erano tenuti in nessun conto. L'attrito delle maree, quantunque

presentemente in quantità piccolissima (§ 28*i*), differisce essenzialmente dalle perturbazioni, che formano l'oggetto principale dello studio dell'Astronomia gravitazionale, stante che la sua azione è immutabile di segno. I teoremi della stabilità mostravano infatti che le perturbazioni ordinarie producono effetti che, più presto o più tardi, si compensano a vicenda; così che, se un certo dato moto era accelerato una volta, sarebbe stato ritardato un'altra; ma ciò non si verifica negli attriti delle maree. L'azione delle maree fra la Terra e la Luna, p. e., gradatamente allunga il giorno e il mese, e aumenta la distanza fra la Terra e la Luna. L'azione della marea prodotta dal Sole ha un simile, ma minore, effetto sul Sole e sulla Terra. L'effetto in ambedue i casi — per quanto lo possiamo misurare — sembra essere minimo al di là quasi di ogni immaginazione; ma in ogni caso non c'è azione che compensi e che tenda ad invertire il processo. E nell'insieme l'energia dei corpi sottoposti a queste azioni è perciò diminuita. Di più le teorie moderne sulla luce e sull'elettricità richiedono uno spazio pieno di etere per la trasmissione delle onde; e benchè non appaia evidente che esso in nessun modo influisca sui movimenti della Terra e dei pianeti, tuttavia è difficile immaginare un mezzo così diverso da tutte le forme conosciute della materia ordinaria, capace di non offrire *nessuna* resistenza a un corpo che l'attraversi. Tale resistenza avrebbe per effetto di portare a poco a poco i componenti del sistema solare più vicino al Sole, e di diminuire gradatamente il tempo delle loro rivoluzioni intorno ad esso. Ecco nuovamente una tendenza che non può mutar segno e per la quale non conosciamo alcuna compensazione.

Infatti, dal punto di vista di Lagrange e Laplace, il sistema solare sarebbe simile ad un orologio, il quale, benchè non cammini molto regolarmente, ma a volte avanti, a volte addietro, non richiede nondimeno di esser caricato; mentre ricerche moderne avvalorano l'analogìa dell'orologio,

che però cammina e va scaricandosi sia pure con eccessiva lentezza. Gli studi moderni sul calore del Sole (§ 310) indicano pure una costante tendenza allo “ scaricarsi ” del sistema solare.

294. La nostra storia sulla moderna Astronomia descrittiva può benissimo cominciare dalle scoperte planetarie.

Il primo giorno del secolo XIX fu segnato dalla scoperta di un nuovo pianeta “ Cerere ”. Fu veduto da Giuseppe Piazzi (1746-1826) come una stella ignota in una plaga del cielo, di cui egli si occupava di fare la carta; ma che presto riconobbe dal suo movimento essere un pianeta. La sua orbita — prima calcolata da *Gauss* (§ 276) — lo dimostrò appartenere a quello spazio di cielo fra Marte e Giove, conosciuto fin dal tempo di Keplero per eccezionalmente ampio. Che un pianeta fosse trovato in quella plaga, non c'era nulla di strano; ma la scoperta fatta da *Enrico Olbers* (1758-1840) appena un anno dopo (marzo 1802) di un secondo corpo (Pallade) che si avvolgeva quasi alla stessa distanza intorno al Sole, era affatto inaspettato, e rivelò una distribuzione planetaria affatto nuova. Era facile supporre che se in quella plaga esistevano due pianeti, ci doveva essere posto anche per altri; ed infatti ne furono (Giunone nel 1804 e Vesta nel 1807) scoperti altri due.

I nuovi corpi erano molto più piccoli di tutti gli altri pianeti, e, lungi dal mostrare subito un disco planetario come Marte e Giove, erano appena distinguibili in apparenza dalle stelle fisse, se non fossero stati osservati con i più potenti telescopi di quel tempo; di qui col nome di *Asteroidi* (suggerito da Guglielmo Herschel) o con quello di *pianetini*, sono stati generalmente designati (1) per distinguerli dagli altri pia-

---

(1) Il nome di *Asteroidi* fu una infelice denominazione che va lentamente scomparendo.

neti. Herschel tentò di misurarne le dimensioni e calcolò il diametro del più grande di 200 miglia (il diametro di Mercurio, quello del più piccolo dei pianeti, è 3000); ma il problema era in verità troppo difficile anche per la sua inarrivabile abilità di osservazione. Si trovò pure che i pianetini erano notevoli sia per la loro grande inclinazione, sia per l'eccentricità di qualcuna delle loro orbite; l'orbita di Pallade, p. es., fa un angolo di 35° con l'eclittica, e la sua eccentricità è $\frac{1}{4}$; cosicchè la sua minima distanza dal Sole non è molto maggiore della metà della sua massima distanza. Queste caratteristiche suggerirono ad Olbers che i pianetini fossero in realtà frammenti di un pianeta primitivo di dimensioni ordinarie, che si era spezzato; e la teoria che più si adattava ai fatti conosciuti allora fu accolta assai favorevolmente in un'epoca dove le “ catastrofi „ erano di moda come spiegazioni scientifiche.

I quattro pianetini testè nominati furono, per quasi 40 anni, i soli che si conobbero: poi se ne scoprì un quinto nel 1845 da *Carlo Lodovico Hencke* (1793-1866) dopo 15 anni di ricerche. Altri due si trovarono nel 1847, un altro nel 1848, e il numero è andato dipoi sempre crescendo. Il procedimento delle scoperte è stato molto facilitato dai perfezionamenti delle carte stellari, ed ultimamente dall'introduzione della fotografia. Adoperando quest'ultimo mezzo, dapprima usato dal dott. *Max Wolf* di Heidelberg nel 1891, si tiene esposta una lastra fotografica per alcune ore; ogni pianeta, che si trova nella plaga del cielo fotografata, movendosi sensibilmente rispetto alle stelle in questo periodo di tempo, viene scoperto dalla striscia che la sua immagine lascia sulla lastra. La figura (fig. 88) qui riportata mostra (vicino al centro) la striscia del pianeta minore Svea, scoperto dal dott. Wolff ai 21 di marzo 1892.

Alla fine del 1897 non meno di 432 pianetini erano conosciuti, dei quali 92 sono stati scoperti da un solo

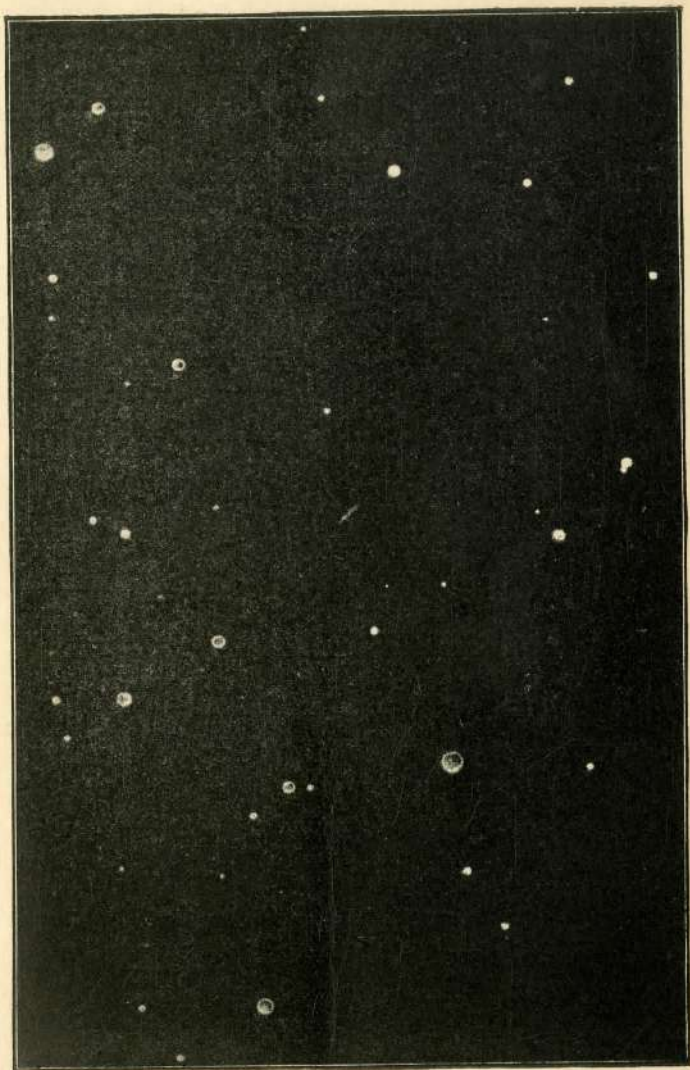



Fig. 88. — *Traccia fotografica di un pianetino.*

sservatore, *M. Charlois* di Nizza, 83 dal prof. *Palisa* di Vienna (1).

Le orbite dei pianetini occupano all'ingrosso la intera plaga fra l'orbita di Marte e quella di Giove. Soltanto pochi sono ai limiti di essa, nessuna orbita è più inclinata sull'eclittica di quella di Pallade, e le eccentricità vanno quasi da zero a circa $\frac{1}{3}$.

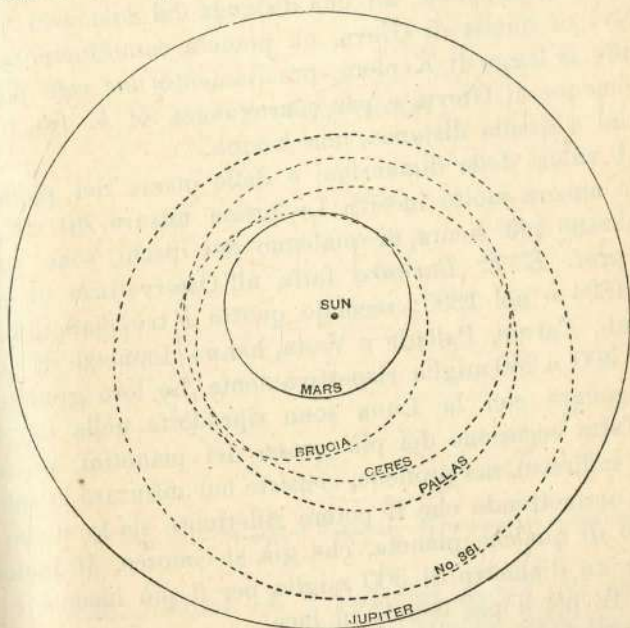



Fig. 89. — *Le orbite dei pianetini.*

La fig. 89 mostra le orbite di Pallade e Cerere con l'aggiunta di (323) Brucia, che è il più vicino al sole, e (361)

(1) Gli astronomi italiani, che scoprirono pianetini, sono Piazzi con Cerere; De Gasparis con Igiea, Partenope, Egeria, Eunomia, Psiche, Massalia, Temi, Ausonia e Beatrice; Schiapparelli con Esperia, e Millosevich con Iosephina e Unitas. (*N. d. Tr.*).

Bonomia, che è il più lontano.(1). Tutte le orbite sono descritte nella direzione normale, ossia dall'Ovest all'Est. La più interessante caratteristica nella distribuzione dei pianetini, prima osservata nel 1866 da *Daniele Kirkwood* (1815-1895) è l'esistenza di uno spazio relativamente libero, nelle plaghe dove l'azione disturbatrice di Giove sarebbe, secondo il principio di Lagrange (Cap. XI, § 243), della massima efficacia; p. es., ad una distanza dal Sole circa cinque ottavi di quella di Giove, un pianeta camminerebbe, secondo la legge di Keplero, precisamente *due volte* più velocemente di Giove, e per conseguenza vi è, fra i pianetini a quella distanza, una lacuna.

I valori delle dimensioni e delle masse dei pianetini sono ancora molto incerti. Le prime misure dirette, che sembrano più sicure, di qualcuno dei dischi, sono quelle del prof. *E. E. Barnard* fatte all'Osservatorio di Lick nel 1894 e nel 1895; secondo queste i tre pianetini più grandi, Cerere, Pallade e Vesta, hanno diametri di quasi 500, 300 e 250 miglia rispettivamente. Le loro grandezze paragonate con la Luna sono riprodotte nella fig. 90.

Fatta eccezione dei più grossi dei pianetini, un metodo indiretto, ma proficuo, consiste nel misurare lo splendore, ammettendo che il potere riflettente sia lo stesso di quello di qualche pianeta, che già si conosce. Il metodo porge un diametro di 300 miglia per il più lucente e di circa 12 per il più debole in luce.

Leverrier calcolò dalle perturbazioni di Marte che la massa totale dei corpi conosciuti e sconosciuti fra Marte

(1) Ciò scrive l'autore sette anni or sono; attualmente il più lontano è TG 1906 (588); il più vicino è (433) Eros, la cui teoria in prima e seconda opposizione visuale devesi all'astronomo E. Millosevich, se pur non lo si voglia considerare un pianeta fra la Terra e Marte, una porzione dell'orbita del quale sta peraltro al di là di Marte. (*N. d. Tr.*).

e Giove non poteva eccedere un quarto di quella della Terra; ma la conoscenza delle grandezze, come possiamo dedurla dalle osservazioni della luce, sembra indicare, che la massa totale di quelli fin qui conosciuti è molte centinaia di volte minore di quel limite.

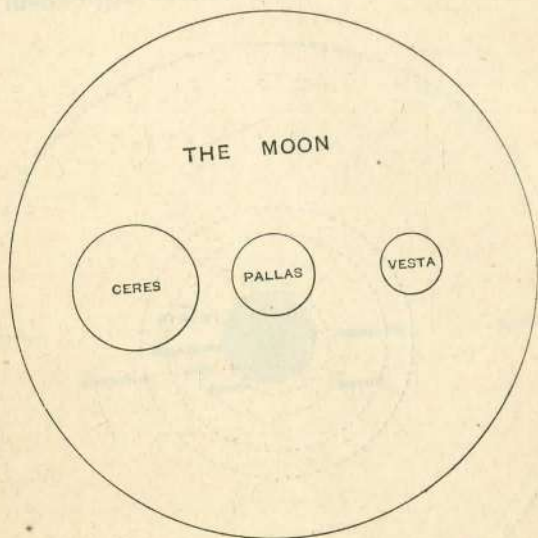



Fig. 90. — *Dimensioni comparative di tre pianetini e della Luna.*

295. Nettuno ed i pianetini sono i soli pianeti scoperti nel secolo XIX; ma molti satelliti sono stati aggiunti al nostro sistema. Appena quindici giorni dopo la scoperta di Nettuno (1846) fu scoperto un satellite da *Guglielmo Lassell* (1799-1880) a Liverpool. Come i satelliti di Urano, questo s'avvolge intorno al suo astro da Est ad Ovest, cioè nella direzione contraria a quella di tutti gli altri movimenti conosciuti del sistema solare (non essendovi comprese certe comete di lungo periodo).

Due anni più tardi (16 settembre 1848) *Guglielmo Cranch Bond* (1789-1859) scoprì, all'Osservatorio del Collegio di

Harward, un ottavo satellite di Saturno chiamato *Iperione*, che Lassell poi, indipendentemente da Bond, scoprì a sua volta dopo due giorni. L'anno seguente Bond scoprì che Saturno era accompagnato da un terzo anello abbastanza scuro — ora conosciuto sotto il nome di *Anello velato* — giacente immediatamente nell'interno degli anelli brillanti

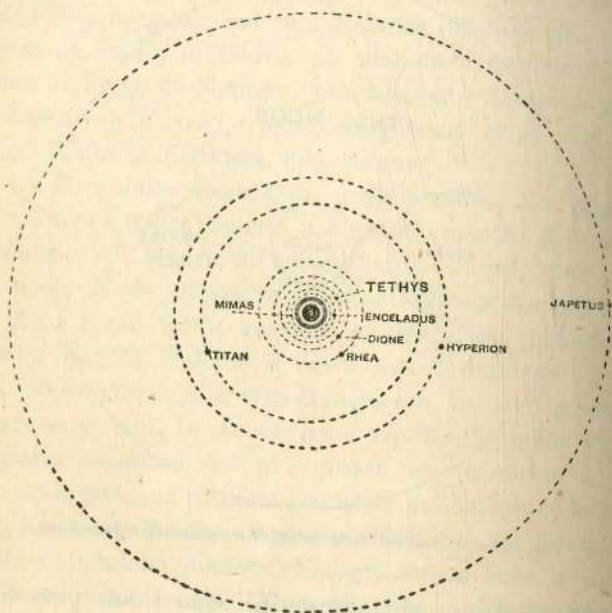



Fig. 91. — *Saturno e il suo sistema.*

(vedi fig. 95); — e la scoperta fu fatta indipendentemente quindici giorni dopo da *Guglielmo Rutter Dawes* (1799-1868) in Inghilterra. Lassel scoprì nel 1851 due nuovi satelliti di Urano, formandone così un totale di quattro appartenenti a questo pianeta. Le scoperte di due satelliti di Marte, coi nomi di *Deimo* e *Fobo* furono fatte dal professore *Asaph Hall* di Washington, l'11 e il 17 agosto 1877. Questi sono notevoli principalmente per la loro stretta vi-

cinanza a Marte e il loro moto estremamente rapido; il più vicino ha una rivoluzione più veloce che non sia la rotazione di Marte; così che per gli abitanti di Marte il satellite deve levarsi all'Ovest e coricarsi all'Est. Ultimamente il sistema di Giove si accrebbe, dopo quasi 3 secoli, per la scoperta del prof. Barnard all'Osservatorio di Lick

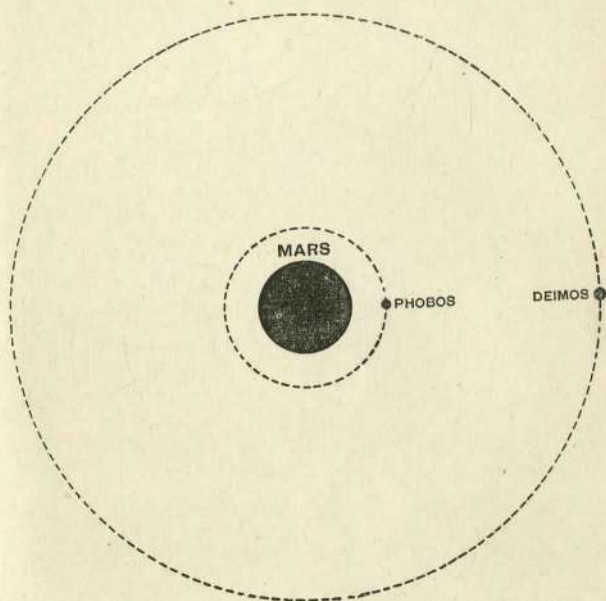



Fig. 92. — *Marte e i suoi satelliti.*

(9 settembre 1892), di un quinto satellite, oltremodo debole, molto più vicino a Giove, che il più vicino dei satelliti di Galileo (Cap. VI, § 121) (1).

296. La superficie dei diversi pianeti e satelliti è stata

(1) Aggiungi VI^{to} satellite di Giove, Perrine 3 dic. 1904; VII^{mo}, Perrine 25 febbraio 1905; IX^{no} satellite di Saturno (Febea) e X^{mo}, W. H. Picksring 1899-1905.

esaminata con la maggior cura da un esercito di osservatori; ma le osservazioni sono rimaste in gran parte senza interpretazione soddisfacente, quindi poco si conosce circa la struttura e le condizioni fisiche dei corpi in discorso.

Gli astronomi naturalmente sono più famigliari col nostro vicino più prossimo, la Luna. Della metà visibile è

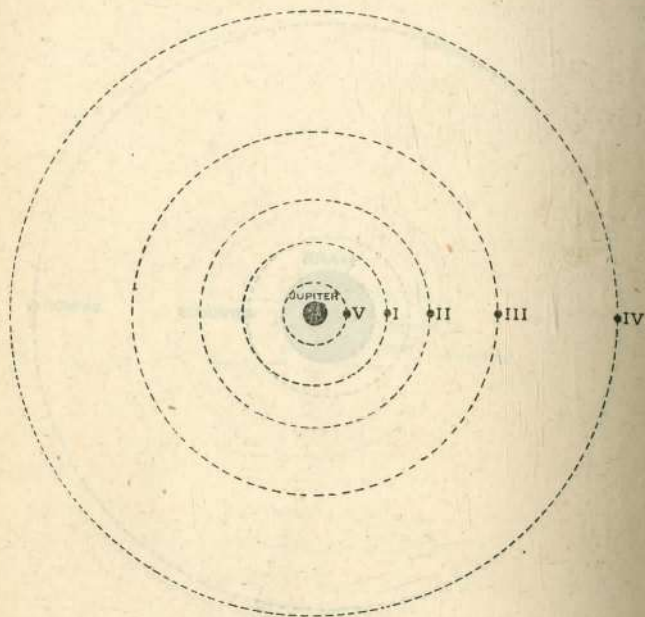



Fig. 93. — *Giove e i suoi satelliti.*

stata fatta una carta bene accurata, e le altezze delle cime dei sistemi dei monti sono state misurate per mezzo delle ombre che proiettano. La scienza moderna ha fatto ogni sforzo per cercare il modo di giudicar l'aspetto della Luna, ritenuto dai primi osservatori ed accettato, dentro certi limiti, anche da Herschel, che cioè la Luna rassomigliasse molto alla Terra, e fosse capace di essere abitata da esseri come noi. Gli spazi oscuri, che una volta

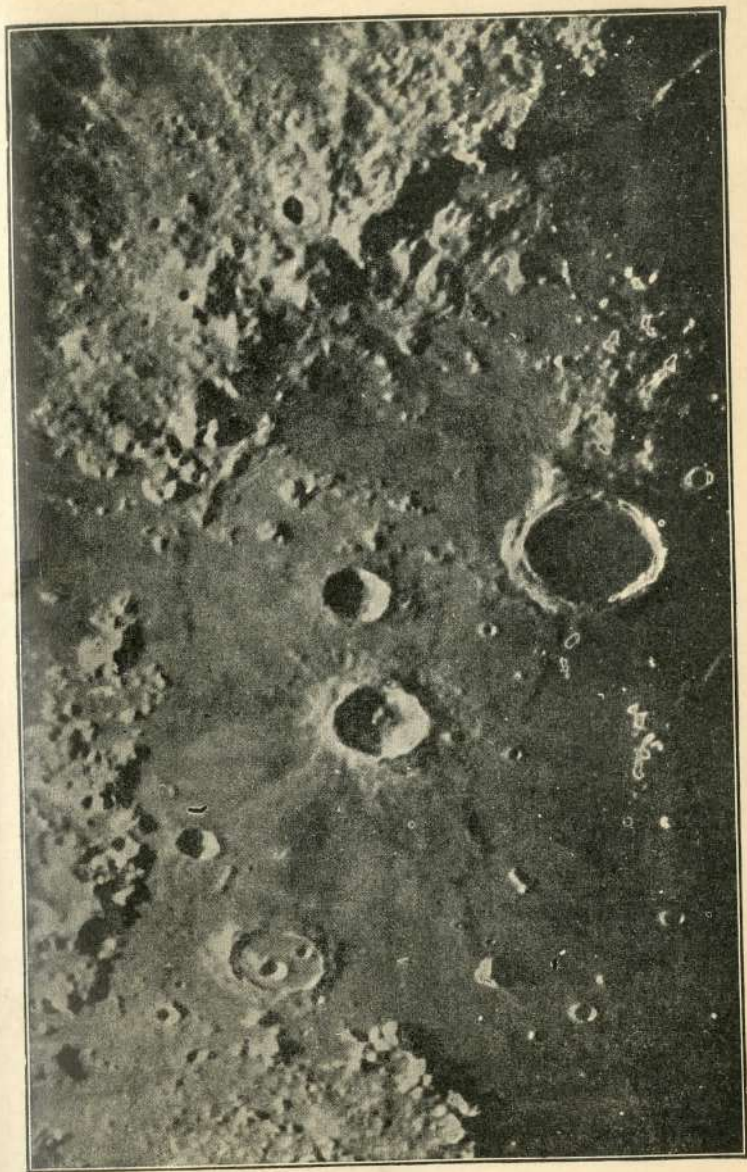



Fig. 94. — *Gli Appennini e le regioni adiacenti della Luna.*
(Da una fotografia presa all' Osservatorio di Parigi).

erano presi per mari, e che ancora ne portano il nome, sono evidentemente coperti da roccie aride, e i crateri, dai quali la Luna è coperta, sono tutti, eccetto una o due dubbiose eccezioni, estinti; le lunghe linee oscure, prese anticamente per letti di fiumi, ora si sa che non hanno acqua. La questione dell'atmosfera lunare è più difficile; se c'è l'aria, la sua densità deve essere piccolissima, qualche centinaio di volte minore di quella della nostra atmosfera alla superficie della Terra; ma queste restrizioni non costituiscono un ostacolo per ammettere l'esistenza di un'atmosfera lunare per una certa estensione, imperocchè sarebbe difficile spiegare certe osservazioni senza la presenza di una atmosfera.

297. Marte, essendo il più vicino dei pianeti superiori, è quello che ha una posizione più favorevole per l'osservazione. Le macchie principali della sua superficie — provvisoriamente interpretata per acqua e terra — sono permanenti e perciò riconoscibili; sono state eseguite carte sufficientemente rassomiglianti della sua superficie; e, osservando alcune caratteristiche configurazioni, il periodo di rotazione è stato fissato alla frazione di secondo. Il professore Schiaparelli di Milano scoprì nell'opposizione nel 1877 un certo numero di linee scure dette generalmente *Canali*; come risultato delle osservazioni fatte durante l'opposizione del 1881-82 egli annunziò che alcune di esse erano doppie; così si videro due linee quasi parallele invece di una. Questa osservazione, assai notevole, è stata confermata da altri osservatori, ma non spiegata. Le superficie visibili di Giove e di Saturno appaiono striate di nubi; la piccola densità di ambedue i pianeti (1,3 e 0,7 rispettivamente, quella dell'acqua essendo 1 e quella della Terra 5,5), i rapidi cambiamenti alla sua superficie, ed altri fatti indicano che questi pianeti sono, per la maggior parte, allo stato fluido e hanno un'alta temperatura a distanza abbastanza piccola al di sotto della superficie visibile. Le mac-

chie della superficie sono in ogni modo abbastanza definite per poter fissare con qualche precisione il periodo di rotazione, benchè sia chiaro, rispetto a Giove e probabile anche rispetto a Saturno, che — come il Sole — (§ 298) diverse parti della superficie si muovono con velocità differenti. Laplace mostrò che l'anello (o gli anelli) di Saturno non potevano essere, come sembrava, un corpo solido uniforme; e così, senza approfondire la cosa, asserì che doveva essere un corpo solido di peso irregolare. Il primo e più importante passo fu fatto da *Giacomo Clerk Maxwell* (1831-1879), più noto come scrittore sull'elettricità e su altri rami di Fisica. Maxwell dimostrò che gli anelli non potevano essere nè corpi solidi continui, nè liquidi; ma che si sarebbe soddisfatto a tutte le condizioni dinamiche, ammettendo un grandissimo numero di corpuscoli solidi, che s'avvolgevano, indipendentemente gli uni dagli altri, intorno a Saturno (1). La teoria così escogitata in un senso puramente matematico, è stata convalidata da prove telescopiche. Gli anelli hanno con Saturno una relazione quasi analoga a quella che i pianetini hanno col Sole; e Kirchwood osservò nel 1867 che la divisione di Cassini fra i due principali anelli può essere spiegata per mezzo delle perturbazioni dovute ad alcuni dei satelliti, appunto come le lacune corrispondenti nei pianetini possono spiegarsi per mezzo dell'azione di Giove (§ 294).

La gran distanza di Urano e di Nettuno li rende difficilissimi a studiarsi, per cui non si sa quasi nulla della loro configurazione, e della loro costituzione; onde i loro periodi di rotazione sono intieramente incerti.

Mercurio e Venere, essendo pianeti inferiori, non sono mai molto lontani dal Sole nel cielo, e perciò estrema-

---

(1) Ciò era stato suggerito come possibile da molti scrittori dei primi tempi.

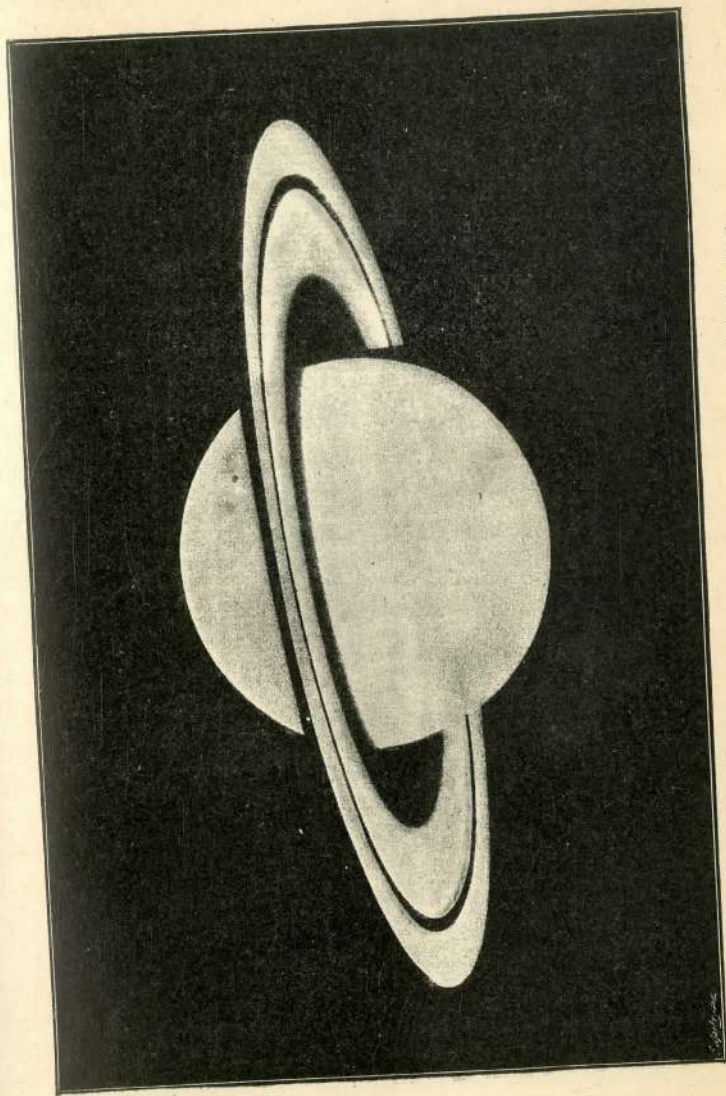



Fig. 95. — *Saturno e i suoi anelli.* — (*Da un disegno del Prof.* Barnard).

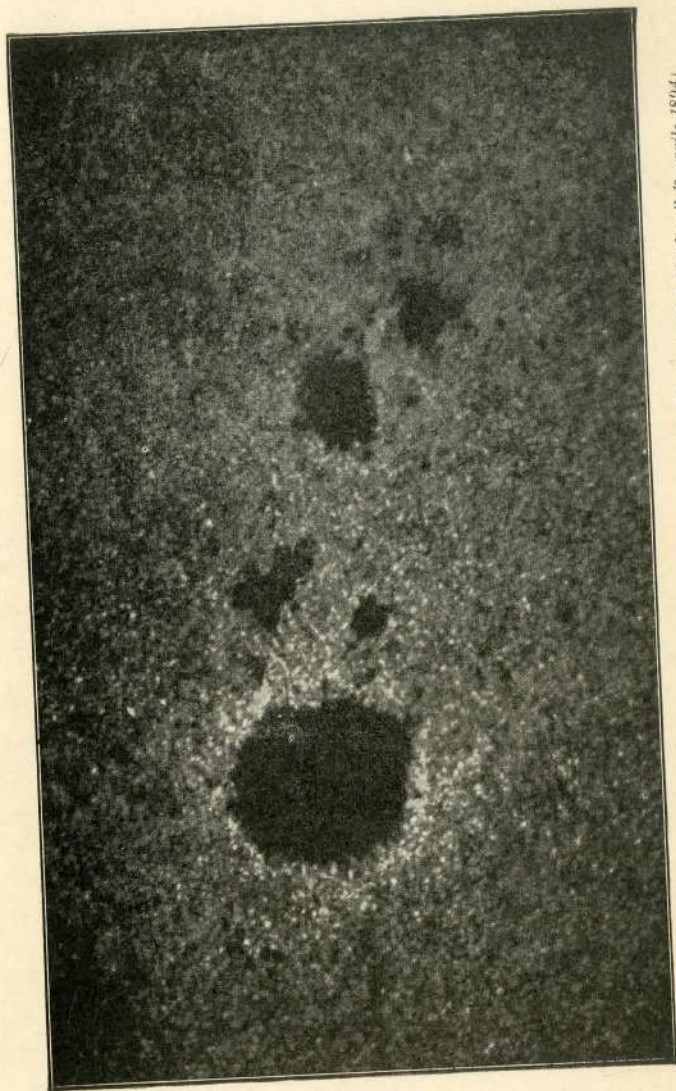



Fig. 96. — *Un gruppo di macchie solari.* — (*Da una fotografia presa da* M. Janssen *a Meudon il 1º aprile 1894*)

mente difficili ad essere osservati bene. Sono state registrate varie macchie oscure e lucenti alla superficie, ma diversi osservatori dànno diverse spiegazioni di esse. I periodi di rotazione sono anch'essi molto incerti, quantunque molti astronomi erano d'accordo con lo Schiaparelli, nel 1889 e nel 1890, su Mercurio e Venere respettivamente, che ognuno di essi ruotasse intorno a sè stesso in un tempo uguale al proprio periodo di rivoluzione intorno al Sole, e così ciascuno gli volgerebbe sempre la stessa faccia. Un tal movimento, che è analogo a quello della Luna intorno alla Terra e di Iapeto intorno a Saturno (Cap. XII, § 267), potrebbe benissimo spiegarsi come resultante dall'azione delle maree, in un tempo assai remoto, quando i pianeti erano la maggior parte allo stato fluido.

298. Gli studi telescopici della superficie del Sole, nel corso del secolo XIX, hanno accumulato un gran numero di speciali cognizioni intorno alle singolarità delle macchie, ecc., ecc., della superficie. I resultati più interessanti di natura generale sono collegati con la distribuzione e la periodicità delle prefate macchie. Gli osservatori dei tempi andati avevano notato che il numero delle macchie del Sole variano di tempo in tempo, ma non fu stabilita nessuna legge per questi cambiamenti fino al 1851, allorquando *Enrico Schwabe* di Dessau (1789-1875) pubblicò, nel *Cosmos* di Humboldt, i risultati di osservazioni delle macchie del Sole, da lui osservate per un quarto di secolo, dimostrando che il numero delle macchie visibili cresceva e decresceva in modo abbastanza regolare nel periodo di circa dieci anni.

Le notizie posteriori e le ultime osservazioni hanno confermato il risultato generale, e il periodo è ora fissato in media di 11 anni, quantunque soggetto a considerevoli cambiamenti. Un anno più tardi (1852) tre indipendenti investigatori, *Sir Edoardo Sabine* (1788-1883) in Inghilterra, *Rodolfo Wolf* (1816-1893) e *Alfredo Gautier* (1793-1881) in Svizzera, richiamarono l'attenzione intorno alla notevole

corrispondenza fra le periodiche variazioni delle macchie del Sole e le varie perturbazioni magnetiche della Terra. Non solamente il periodo è il medesimo, ma accade anche invariabilmente che, allorquando le macchie sono più numerose sul Sole, i disturbi magnetici sono più sensibili sulla Terra, e similmente coincidono le epoche della scarsità delle due serie di fenomeni. Questa inaspettata, quanto misteriosa corrispondenza, è stata confermata dai fatti in parecchie occasioni; che cioè sulla Terra si sono avverati forti disturbi magnetici e simultaneamente si sono verificati rapidi cambiamenti sulla superficie del Sole. Una lunga serie di osservazioni della posizione delle macchie sul Sole, intrapresa da *Riccardo Cristoforo Carrington* (1826-1875), condusse a riconoscere chiaramente per la prima volta la differenza nella velocità di rotazione delle diverse parti della superficie del Sole. Il periodo di rotazione fu fissato (1859) a circa 25 giorni all'Equatore, e due giorni e mezzo di più al parallelo eliografico intermedio fra l'Equatore e i Poli, mentre inoltre furono vedute delle macchie che avevano " movimenti propri indipendenti ". Carrington stabilì pure (1858) la scarsezza delle macchie nella immediata vicinanza dell'Equatore, e confermò statisticamente la loro prevalenza nelle regioni adiacenti, e la loro grande scarsezza a più di 35° dall'Equatore: di più osservò certi cambiamenti regolari nella distribuzione delle macchie sul Sole durante il periodo di 11 anni. La teoria di Wilson (Cap. XII, § 268), che le macchie sono depressioni, fu confermata da una estesa serie di fotografie prese a Kew nel 1858-72, le quali dimostrarono che esisteva una grande preponderanza di casi di effetto di prospettiva secondo le vedute di Wilson; ma d'altra parte, il sig. *F. Howlett*, che ha studiato il Sole per quasi 35 anni ed ha fatto parecchie migliaia di disegni delle sue macchie, considera (1894) che le sue osservazioni sono addirittura contro la teoria di Wilson. Altri osservatori emisero teorie diverse.

299. *L'analisi spettrale*, che ha avuto sì gran parte nei recenti lavori astronomici, è essenzialmente un metodo per decifrare la natura di un corpo, scrutando od analizzando nei suoi diversi componenti la luce che vien da esso. Fu dapprima chiaramente stabilito da Newton nel 1665-66 (Cap. IX, § 168) che la luce bianca, come la luce del Sole — con le debite precauzioni — può essere, attraverso un prisma di cristallo, scomposta in luce di diversi colori; se il raggio così scomposto si fa cadere sopra uno schermo, produce una fascia di colori, chiamata *spettro*, che incomincia col rosso e termina col violetto (1).

Ora, secondo la teoria moderna, la luce consiste essenzialmente in una serie di onde trasmesse ad intervalli, estremamente corti, ma regolari dal corpo luminoso all'occhio; il *mezzo* attraverso al quale passano queste onde viene chiamato etere. La più importante caratteristica che distingue le diverse specie di luce è l'intervallo di tempo o lo spazio fra un'onda e l'altra, che è comunemente detto *lunghezza dell'onda*, ossia la distanza fra un punto qualunque di un'onda ed il punto corrispondente della successiva. Le differenze della lunghezza d'onda ben presto si palesarono come differenze di colori; così che la luce di un certo colore, trovata in una certa parte dello spettro, ha una data lunghezza d'onda. All'estremità dello spettro, ove si trova il violetto, p. es., la lunghezza d'onda è circa la quindicimilionesima parte di un pollice. All'estremità dove si trova il rosso è circa due volte tanto (§ 283). Dalla nota velocità della luce segue, che, quando osserviamo l'estremo rosso dello spettro, circa 400 bilioni di onde di luce per minuto secondo entrano nell'occhio, e due volte questo numero quando noi guardiamo l'altra estremità. L'esperi-

---

(1) I sette colori dello spettro solare sono: rosso, aranciato, giallo, verde, azzurro o turchino, indaco, violetto o pavonazzo. (*N. d. Trad.*).

mento di Newton rese manifesto che un prisma scompone la luce di natura composta secondo la lunghezza delle onde delle specie diverse che intervengono in detta luce. La stessa cosa si può ottenere sostituendo al prisma un così detto *reticolo di diffrazione*, il quale è in certi casi superiore al prisma. In generale è necessario di procurarsi la maggior purezza dello spettro, di farlo grande abbastanza, di far passare la luce attraverso una stretta fessura, e di adoperare certe lenti combinate con uno o più prismi o con un reticolo: e questa disposizione è tale che lo spettro non si fa cadere sopra uno schermo, ma o è veduto direttamente dall'occhio, o è fotografato. L'intiero apparecchio è conosciuto col nome di *Spettroscopio*.

Lo spettro solare apparve a Newton come una striscia continua di colori; ma nel 1802 *Guglielmo Hyde Wollaston* (1766-1828) osservò certe linee scure che si estendevano attraverso lo spettro e che egli prese per i limiti dei colori naturali. Pochi anni dopo (1814-15) il grande ottico di Monaco *Giuseppe Fraunhofer* (1787-1826) esaminò assai più diligentemente lo spettro solare, e scoprì 600 di tali linee nere; di 324 egli disegnò la posizione sulla carta (vedi fig. 97). Perciò queste linee si chiamano *Linee di Fraunhofer;* per distinguerle dalle altre, Fraunhofer indicò con certe lettere dell'alfabeto alcune delle più salienti: le altre sono ora generalmente conosciute dalla lunghezza d'onda della corrispondente specie di luce.

A grado a grado si venne scoprendo che le fasce scure potevano essere prodotte artificialmente in spettri, che risultassero dalla luce che attraversa sostanze diversamente colorate, e che d'altra parte gli spettri di certe fiamme erano attraversati da alcune linee brillanti. Si fecero molti tentativi per spiegare e collegare queste varie osservazioni; ma la prima soddisfacente ed abbastanza completa spiegazione fu data nel 1859 da *Gustavo Roberto Kirchhof*

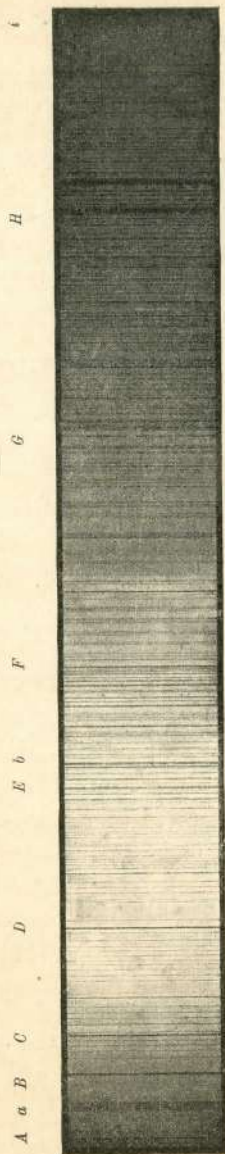
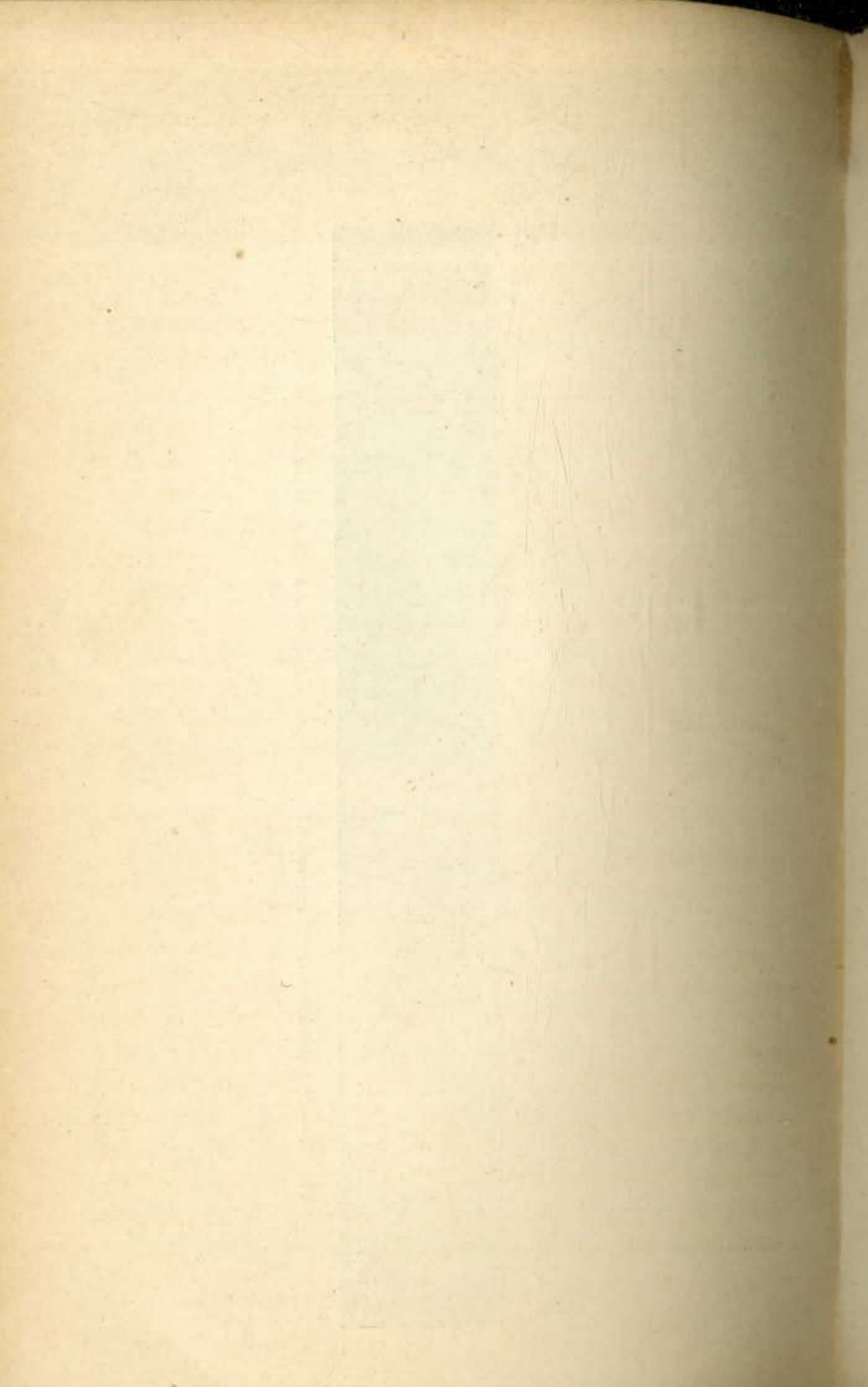



Fig. 97. — *Lo spettro solare di* Fraunhofer. (*L'estremo rosso dello spettro è a sinistra, il violetto a destra*).

(1824-1887) di Heidelberga, che da principio lavorò insieme al chimico Bunsen.

Kirchhof dimostrò che un solido o un liquido luminoso o, come ora sappiamo, un gas ad alta pressione, dànno uno spettro continuo; laddove una sostanza gasosa dà uno spettro consistente di linee brillanti (con o senza un debole spettro continuo), e queste linee brillanti dipendono da quella particolare sostanza e sono caratteristiche di essa. Per conseguenza la presenza di una sostanza particolare sotto forma di gas in un corpo incandescente, può stabilirsi dalla presenza delle sue linee caratteristiche dello spettro della luce. Le linee *scure* dello spettro solare furono spiegate col principio fondamentale — conosciuto spesso col nome di legge di Kirchhof — che la capacità di un corpo di assorbire o fermare la luce di una certa lunghezza d'onda, è proporzionale al suo potere, sotto le stesse condizioni, di emettere la medesima luce. Se, in particolare, la luce di un corpo solido o liquido, che ha uno spettro continuo, attraversa un gas, il gas assorbe la luce della medesima lunghezza d'onda, che può emettere esso stesso; se il gas emette più luce di questa lunghezza d'onda, che non ne assorba, allora lo spettro è attraversato dalle corrispondenti linee brillanti; ma se assorbe più di quel che dà, allora vi è una deficienza di luce di queste lunghezze d'onda, e le parti corrispondenti dello spettro appaiono scure — cioè lo spettro è attraversato da linee scure — nella medesima posizione delle linee brillanti nello spettro del gas solo. Che il gas assorba più o meno di quel che emette, è essenzialmente questione di temperatura; così che se la luce da un corpo incandescente, solido o liquido, attraversa un gas di temperatura più alta, risulterà uno spettro attraversato da linee brillanti; e viceversa, se il gas è più freddo che il corpo dietro di esso, saranno vedute nello spettro delle righe oscure.

300. La presenza delle linee di Fraunhofer nello spettro solare dimostra che la luce del Sole proviene da un corpo ad elevata temperatura, incandescente, solido o liquido (o da un gas ad alta pressione) e che ha attraversati gas più freddi, che hanno assorbito la luce della lunghezza di onde corrispondenti alle linee oscure. Questi gas devono essere od intorno al Sole o nella nostra atmosfera, e non è difficile il dimostrare che, quantunque alcune delle linee di Fraunhofer sieno dovute alla nostra atmosfera, gran parte di esse non possono esserlo, e sono perciò cagionate da gas esistenti nell'atmosfera del Sole.

Per esempio, il metallo sodio, quando è allo stato di vapore, dà uno spettro caratterizzato da due quasi coincidenti linee brillanti nella parte gialla dello spettro; queste si accordano per posizione ad una coppia di linee oscure (indicate con *D*) nello spettro solare (vedi fig. 97); Kirchhof ne concluse perciò che l'atmosfera del Sole contenenesse del sodio. Paragonando le linee scure nello spettro solare con le linee brillanti negli spettri dei metalli e di altre sostanze, la loro presenza o la loro assenza nell'atmosfera solare può per conseguenza essere verificata. Nel caso del ferro — che ha uno spettro estremamente complicato — Kirchhof riuscì felicemente ad identificare 60 linee (dipoi cresciute a più di 2000) nel suo spettro, con linee scure nello spettro solare. Qualche mezza dozzina di altri elementi conosciuti furono altresì identificati da Kirchhof nel Sole.

Le ricerche della composizione chimica del Sole così iniziate furono dipoi proseguite con molta alacrità. I metodi migliorati e perfezionati, e la maggiore esattezza hanno condotto alla costruzione di una serie di Carte dello spettro solare, cominciando da quelle di Kirchhoff, pubblicate nel 1861-62, sempre più complesse ed accurate. Si estesero altresì le cognizioni sugli spettri dei metalli. Al momento presente sono stati rinvenuti nel Sole ben 30

o 40 elementi; i più interessanti oltre a quelli già menzionati sono l'idrogeno, il calcio, il magnesio e il carbonio.

Il primo lavoro spettroscopico sul Sole fu compiuto con la luce ricevuta dall'intero Sole; ma presto si vide che, gettando una immagine del Sole sulla fenditura dello spettroscopio, per mezzo di un telescopio, si otteneva lo spettro di una data parte della superficie del Sole, come sarebbe una macchia o una facola; e si fecero poi una infinità di osservazioni di simil genere.

301. Certe osservazioni di eclissi totali di Sole hanno dimostrato che la fotosfera del Sole, quale noi ordinariamente la vediamo, non è tutto, ma che al di fuori di essa vi è un inviluppo di luce troppo debole per essere veduto comunemente da noi; ma che diviene visibile quando la stessa intensa luce del Sole è interrotta dalla Luna. Una vasta aureola intorno al Sole eclissato, chiamata ora *Corona*, è ricordata da Plutarco, e discussa da Keplero (Cap. VII, § 145). Parecchi astronomi del secolo XVIII osservarono una striscia rossa da una parte dell'orlo comune al Sole e alla Luna, e qua e là macchie o vapori rossi (cfr. Cap. X, § 203). Ma vi si fece ben poca attenzione fino dopo l'eclisse totale di Sole nel 1842. Alcune osservazioni fatte allora e durante i due seguenti eclissi nel 1851 e nel 1860 (nell'ultimo dei quali anni la fotografia fu per la prima volta effettivamente adoperata a quest'uso) misero in evidenza la striscia rossa, che corrispondeva ad un inviluppo continuo di materia sconosciuta, che circondava il Sole, cui è stato dato il nome di *cromosfera*, e che quegli oggetti rossi, generalmente conosciuti col nome di *protuberanze*, erano in generale parti proiettanti della cromosfera, benchè qualche volta da essa staccate. Nell'eclisse del 1868 fu ottenuto lo spettro delle protuberanze e della cromosfera, e si vide che consisteva di linee brillanti, segno evidente che era lo spettro di gas. Subito dopo *M. Janssen*, uno degli osservatori dell'eclisse e *Sir J. Norman Lockyer*, indipenden-

temente l'uno dall'altro, inventarono un metodo mediante il quale fu possibile osservare lo spettro di una protuberanza all'orlo del disco del Sole alla luce del giorno, senza aspettar l'eclisse: e mediante una modificazione introdotta da *Guglielmo Huggins* l'anno seguente (1869), si potè osservare la forma di una protuberanza spettroscopicamente. Recentemente (1892) il prof. *G. E. Hale* di Chicago è riuscito ad ottenere, per mezzo di un processo fotografico, la rappresentazione di tutta la cromosfera e delle protuberanze, e lo stesso processo dà le fotografie delle facole (Capitolo VIII, § 153) sulla superficie visibile del Sole.

Le linee più importanti generalmente presenti nello spettro della cromosfera sono quelle dell'idrogeno, due linee (*H* e *K*) che sono state identificate, con un po' di difficoltà, appartenenti al calcio, e una linea gialla prodotta da una sostanza recentemente scoperta (1895) sulla Terra, chiamata *Elio*. Ma la cromosfera e molte protuberanze in condizioni eruttive, dànno spettri che contengono un'infinità di linee.

La corona fu per qualche tempo riguardata quale illusione ottica, prodotta dall'atmosfera. Ciò che essa sia veramente e come si accerti che è un'appendice del Sole, misero in luce per la prima volta due astronomi americani, il prof. *Harkness* e il prof. *C. A. Young*, che rilevarono una linea brillante di origine sconosciuta (1) nel suo spettro, dimostrando che esso consiste in gran parte di gas incandescenti. I lavori spettroscopici successivi dimostrano che la sua luce è in parte la luce del Sole riflessa.

---

(1) La scoperta di una sostanza terrestre con questa linea nel suo spettro è stata annunziata mentre si pubblicava questo libro (*).

(*) Il *Coronium* della Corona solare fu ritrovato nei gas delle solfatare di Pozzuoli. *(N. d. Tr.)*.

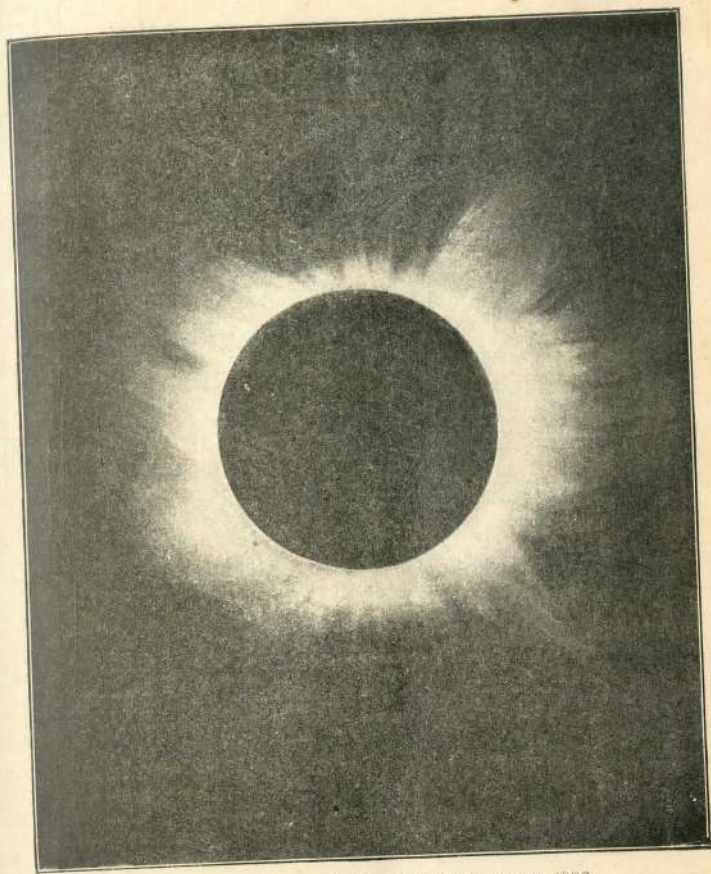
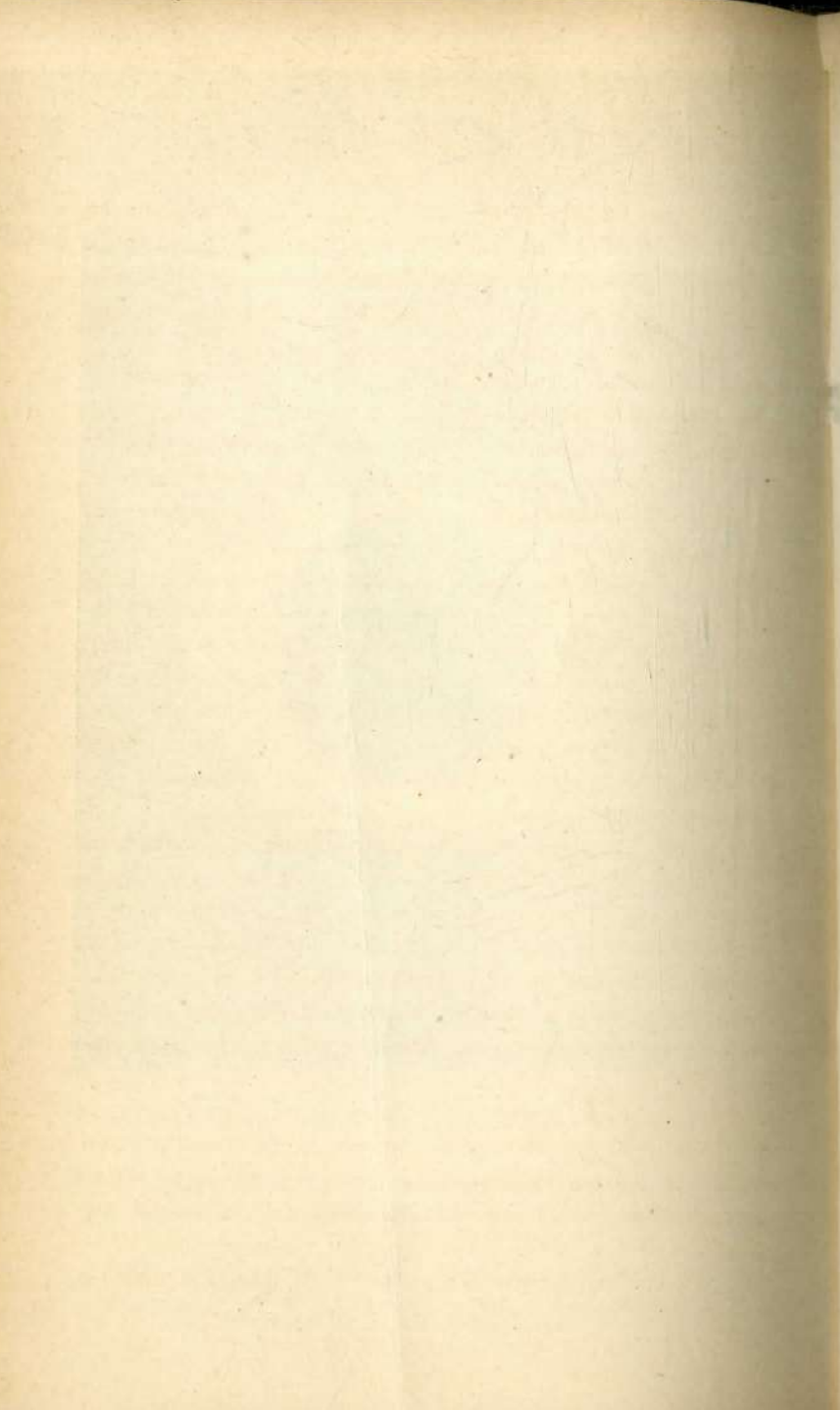



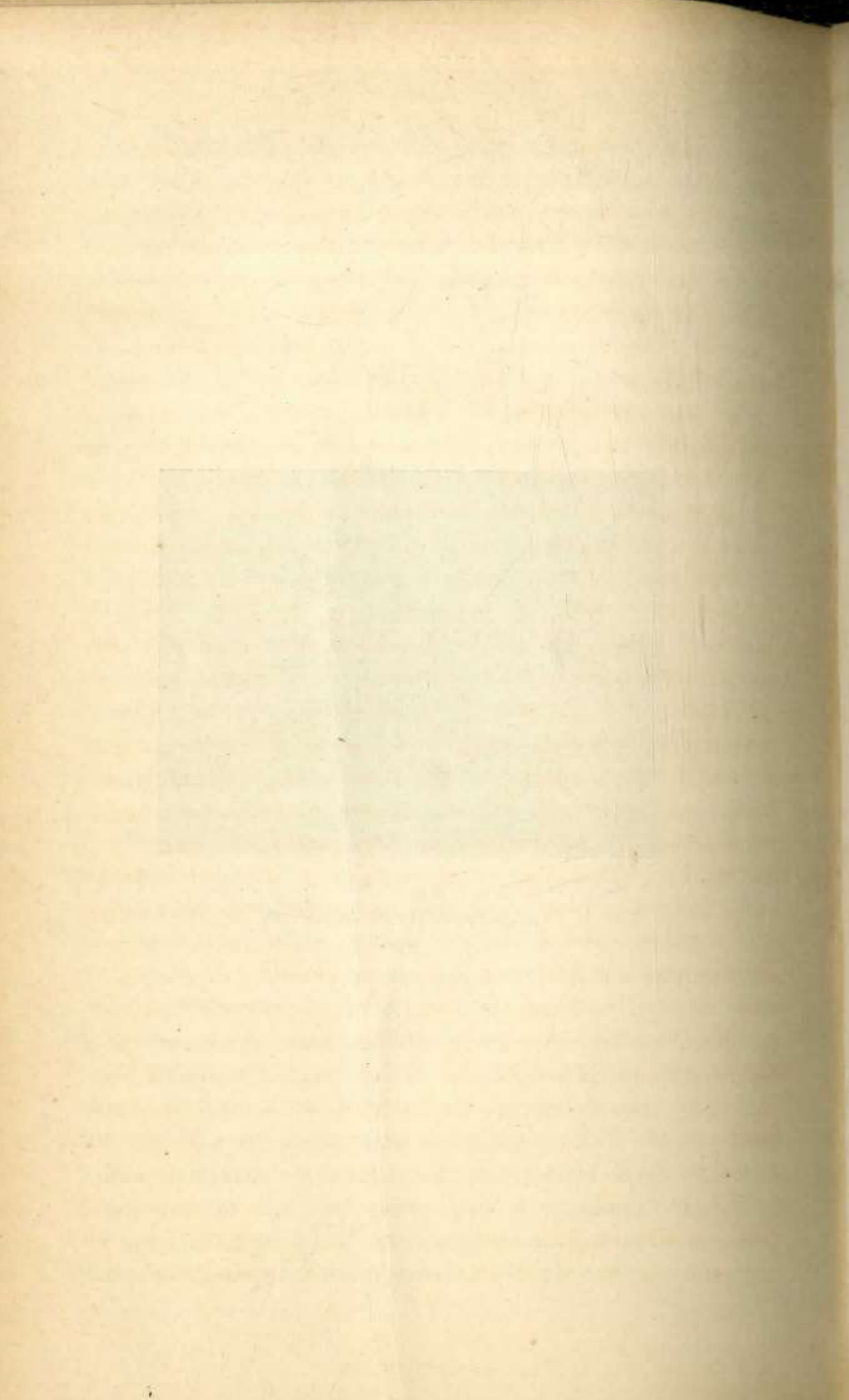
Fig. 98. — *L'eclisse totale solare del 29 agosto 1886.*
(*Da un disegno fatto sulle fotografie del dott.* SCHUSTER *e Mr.* MAUNDER).

La corona è stata accuratamente studiata in ogni eclisse solare durante questi ultimi 30 anni, sia con lo spettroscopio che con il telescopio, aiutati dalla fotografia; e sono state proposte un'infinità di ingegnose teorie della sua costituzione; ma le nostre attuali cognizioni sulla sua natura non vanno quasi al di là della descrizione che ne fa il prof. *Young;* egli la chiama " una nuvola di gas inconcepibilmente tenue, nebbia e polvere, circondante il Sole, formata e regolata dalle forze solari. „

302. Lo spettroscopio rende altresì ragione di certi movimenti che avvengono nel Sole. Fu osservato nel 1842 da *Christian Doppler* (1803-1853), quantunque in un modo imperfetto e anche, si può dire, erroneo, che se un corpo luminoso si avvicina all'osservatore o viceversa, le onde di luce sono come intrecciate insieme, accavallate e giungono all'occhio ad intervalli più corti, che se il corpo fosse fermo; e perciò il carattere della luce è cambiato. Il colore e la posizione nello spettro dipendono ambedue dall'intervallo fra un'onda e l'altra; così che se un corpo che emette onde di luce di una certa data lunghezza, per esempio, la luce turchina, corrispondente alla linea F dell'idrogeno, si avvicina rapidamente all'osservatore, la linea nello spettro apparisce un poco discosta dalla sua posizione ordinaria, essendo spostata verso il lembo violetto dello spettro, mentre se il corpo si allontana, la linea è spostata verso la direzione opposta. Questo risultato è comunemente conosciuto sotto il nome di *Principio di Doppler.* L'effetto prodotto può essere espresso numericamente. Se, per esempio, il corpo si avvicina con una velocità uguale ad $\frac{1}{1000}$ di quella della luce, allora 1001 onde entrano nell'occhio o nello spettroscopio nel tempo in cui solo 1000 sarebbero entrate se fosse stato immobile; vi è, per conseguenza, un accorciamento virtuale della lunghezza dell'onda, nel rapporto di 1001 a 1000. Così che se si trova che una linea nello spettro di un corpo è spostata dalla sua consueta po-

sizione in tal modo, che la sua lunghezza d'onda è apparentemente diminuita di $\frac{1}{1000}$, si può assicurare che il corpo si avvicina con la velocità sopraddetta, cioè circa 186 miglia per minuto secondo; e se la lunghezza d'onda appare aumentata dalla stessa quantità (essendo la linea spostata verso il limite del rosso dello spettro) il corpo recede con la medesima velocità.

Alcune delle prime osservazioni delle protuberanze, fatte da Sir J. N. Lockyer (1868), nonchè delle macchie e di altre apparenze del Sole, fatte dallo stesso osservatore e da altri, dimostrarono spostamenti e distorsioni nelle linee dello spettro, che presto furono interpretate con questo metodo; ed infatti indicavano violenti eruzioni di gas nell'atmosfera del Sole, offrenti velocità di 300 miglia al secondo. Il metodo ha avuto una conferma interessante dalle osservazioni dello spettro nei lembi opposti del disco solare, i quali, per effetto della rotazione, hanno velocità in senso opposto rispetto all'occhio dell'osservatore. Il prof. *Dunér* di Upsala ha determinato, mediante questo processo (1887-89), la velocità di rotazione della superficie del Sole al di là delle regioni dove esistono le macchie, e perciò all'infuori dei limiti delle osservazioni, come quelle di Carrington (§ 298).

303. Lo spettroscopio ci dice che l'atmosfera del Sole contiene ferro e altri metalli, sotto forma di vapori; e la fotosfera, che fornisce spettro continuo è certamente più calda. Inoltre, tutto ciò che sappiamo intorno al modo con cui il calore è comunicato da una parte all'altra di un corpo, tende a provare che le regioni esterne del Sole, dalle quali luce e calore irradiano in grandissime proporzioni, devono essere le parti più fredde, e che la temperatura si innalza, secondo ogni probabilità, rapidamente verso l'interno. Tali fatti, accoppiati alla piccola densità del Sole (quasi un quarto di quella della Terra) e con la condizione della superficie sempre violentemente distur-

Fig. 99. — *La gran cometa del 1882 (II) il 7 novembre.*
(*Da una fotografia del dott.* GILL).

bata, mostrano che la parte interna del Sole è una massa di gas ad altissima temperatura e ad alta pressione. Al di qua di questa massa vengono per ordine, sempre ritenendo incertissimi i rispettivi limiti e le mutue relazioni, prima la fotosfera, generalmente riguardata come uno strato gassoso, poi lo *strato invertibile,* che produce la maggior parte delle linee di Fraunhofer, poi la cromosfera e le protuberanze, e finalmente la corona. Le macchie solari, facole e protuberanze sono state spiegate in molte e varie maniere, come combinazioni di perturbazioni solari di generi diversi; ma le teorie particolareggiate che furono avanzate non spiegano che una parte dei fatti notati, ed hanno tutte un assentimento ben limitato fra i più ragguardevoli astronomi.

304. Più di 200 comete sono state vedute durante il secolo XIX; e non solamente è stato seguíto il moto di molte di esse e calcolate le loro orbite (§ 291), ma in moltissimi casi le loro configurazioni e la struttura sono state diligentemente esaminate col telescopio, mentre recentemente sono state anche impiegate l'analisi spettrale e la fotografia. Alcune ricerche indipendenti le une dalle altre mostrano essere l'essenza d'una cometa qualche cosa come di immateriale, se si eccettui la parte centrale lucente, detta *nucleo,* la quale quasi sempre si ravvisa. Più di una volta, come nel 1767 (Cap. XI, § 248), una cometa è passata vicino a qualche corpo del sistema solare, e non si è mai verificato che abbia influenzato il movimento di alcuno di essi. La massa d'una cometa è perciò piccolissima, ma, poichè il volume è grandissimo, la coda potendo essere lunga milioni di miglia, ne deriva essere la densità minima. Di più, si sono osservate delle stelle brillare attraverso la coda d'una cometa (come si può vedere nella fig. 99) e anche attraverso la chioma a una distanza non molto grande dal nucleo, e la luce parve lievemente, se non del tutto, smorzata. Due volte almeno (1819, 1861) la Terra ha attraversato la coda di una cometa, ma fummo così poco

influenzati, che il fatto fu solo rivelato da calcoli eseguiti dopo l'avvenimento. La osservazione antica (Cap. III, § 69) che la coda di una cometa si allontana dal Sole è stata ampiamente verificata; e da ciò segue che alcune volte devono accadere cambiamenti rapidissimi nella posizione della coda della cometa. Per esempio, la cometa del 1843 passò vicinissima al Sole con tal velocità, che in men di due ore passò da una parte all'altra del Sole; essa era troppo vicina al Sole per poterla vedere; ma se la cometa, che aveva una coda straordinariamente lunga, obbedì alla legge ordinaria, quella deve aver invertita completamente la sua direzione in questo corto periodo di tempo. È difficile di ammettere che la coda non sia un'appendice permanente della cometa; ma in realtà pare che sia una striscia di materia derivata dalla cometa sotto l'azione del Sole, e sotto questo punto di vista può essere paragonata al fumo, che esce da un camino. Questo accertamento è confermato dal fatto, che la coda si sviluppa soltanto con l' avvicinarsi al Sole, mentre, quando la cometa è distante da esso, appare come una chiazza di luce nuvolosa, con una macchia più brillante che rappresenta il nucleo. Che se la coda è formata da materie che vengono fuori dalla cometa, cosa che accade soltanto quando la cometa è vicina al Sole, più è vicina al Sole, più va disperdendosi; e vediamo, in conseguenza di ciò, che le comete a corto periodo, che ritornano spesso vicino al Sole, sono corpi poco cospicui (§ 291). Questa stessa teorica è avvalorata dalla forma della coda. In alcuni casi è diritta, ma in molti altri essa fa una curva assai pronunziata e la curvatura è sempre indietro rapporto al movimento della cometa. Ora, per i principii ordinari della Dinamica, una materia lanciata fuori dalla chioma della cometa, mentre questa gira intorno al Sole, tenderebbe a rimanere sempre più indietro, a mano a mano che si allontana dalla chioma, e formerebbe una coda la cui curvatura è indietro rapporto al moto, — curvatura più o meno

grande secondo che le particelle formanti la coda sono più o meno velocemente respinte. — Così le varie curvature delle code nelle diverse comete, e l'esistenza di due o più differenti curvature di coda nella stessa cometa, sono spiegate supponendole formate di materie differenti, respinte dalla chioma della cometa con velocità differenti.

La prima applicazione dello spettroscopio allo studio delle comete fu fatta nel 1864 da *Giambattista Donati* (1826-1873), meglio noto come scopritore della magnifica cometa del 1858 (1). Si ebbe uno spettro di tre bande brillanti più larghe delle " linee " ordinarie, ma non furono allora identificate. Quattro anni più tardi, Sir William Huggins ottenne un simile spettro, e lo identificò per un composto di carbonio e di idrogeno. Quasi ogni cometa esaminata dipoi ha mostrato nel suo spettro bande brillanti, che indicavano la presenza dello stesso o di qualche altro idrocarburo; e in pochissimi altri casi sono state rinvenute altre sostanze. Una cometa è perciò, almeno in parte, splendente di luce propria, e quasi tutta la luce, che ci tramanda, è quella di un gas incandescente. S'illumina anche in gran parte di luce del Sole riflessa; quasi sempre dà uno spettro continuo, e in pochi casi — il primo nel 1881 — lo spettro fu tanto distinto da essere attraversato dalle linee di Fraunhofer. Ma lo spettro continuo sembra essere anche dovuto, in parte, a materia solida e liquida che esiste nella cometa stessa, ad una temperatura abbastanza alta da essere di per sè luminoso.

305. Il lavoro degli ultimi 30 o 40 anni ha stabilito una notevole relazione fra le comete e quei corpi piccolissimi, che ci appaiono sotto forma di *meteore* o *stelle filanti*. Solamente pochi fatti veramente evidenti però

---

(1) G. B. Donati, n. a Pisa e m. a Firenze (Arcetri) di colera proveniendo da Vienna, fu il fondatore dell'Osservatorio di Arcetri. (*N. d. Tr.*).

possono essere qui ricordati. Le pioggie di stelle cadenti, la cui apparizione fu conosciuta fino da tempi remoti, sappiamo che sono dovute al passaggio della Terra a traverso uno sciame di corpi che si avvolgono in una orbita ellittica intorno al Sole. Le orbite di quattro di questi sciami furono determinate con qualche certezza e precisione nel 1866-67, e si trovò che si accordavano con le orbite di quattro comete già note (1). E da quel momento si sono riscontrati altri casi di somiglianza fra le orbite di questi sciami meteorici e le orbite cometarie. Una delle quattro comete, che abbiamo ora ricordato, la cometa di Biela, con un periodo di circa sei o sette anni, fu debitamente riveduta in diverse successive apparizioni; ma nel 1845-46 fu osservato per la prima volta che era alquanto deformata, e dopo fu trovata divisa in due distinte comete; nella successiva apparizione (1852) si osservò nuovamente la coppia; ma d'allora in poi non è stata rivista nessuna delle due parti. Alla fine di novembre di ogni anno la Terra quasi interseca l'orbita di questa cometa, e in due occasioni (1872 e 1885) il passaggio accadde quando la cometa era attesa in quel punto; se, come sembrava probabile, la cometa si fosse frantumata dopo l'ultima sua apparizione, pareva si dovesse verificare il caso di incontrare con molta probabilità parecchi dei suoi resti; e questa aspettazione fu confermata in ambedue le occasioni da una pioggia di meteore molto più intensa di quelle comunemente osservate alla stessa epoca.

La cometa di Biela non è la sola cometa che abbia mostrato prove di suddivisione; la cometa di Brooks del 1889, che è probabilmente quella di Lexell (Cap. XI, § 248), apparve accompagnata da tre piccole comete: poichè questa

---

(1) Alla teoria, che lega gli sciami di Stelle cadenti alle comete, ha poderosamente contribuito G. V. Schiaparelli, n. a Savigliano nel 1835. *(N. d. Tr.)*.

cometa è passata più di una volta vicinissima a Giove, si ha subito una plausibile spiegazione del suo sfasciamento, che è stato determinato dalla forza attrattiva di questo pianeta. Inoltre si è scoperto un certo sistema di comete, i cui componenti si muovono nella medesima orbita, ma separati da considerevoli intervalli di tempo. La cometa di Tebbutt del 1881 si muove realmente nella stessa orbita di una veduta nel 1807, la gran cometa del 1880, quella del 1882 (vedi fig. 99) e una terza apparsa nel 1887, si muovono tutte in orbite che somigliano molto da vicino a quella della cometa del 1843, mentre quella del 1668 è dubbio se faccia parte di questo sistema. Ed è difficile non riguardare i componenti di un sistema come frammenti di comete anteriori che son passate attraverso gli stadî, nei quali abbiamo effettivamente vedute le comete di Biela e di Brooks.

La prova dell'esistenza di tali differenti specie indica un'intima connessione fra comete e meteore, benchè sia cosa forse prematura lo stabilire con troppa sicurezza, che le meteore sieno frammenti di comete scompostesi, o che reciprocamente le comete siano sciami di meteore.

306. Ognuno dei grandi problemi dell'Astronomia siderale, che Herschel formulò e tentò di risolvere, è stato assiduamente studiato dagli astronomi del secolo XIX. Il moltiplicarsi degli Osservatorî, il perfezionamento dei telescopi e l'introduzione della fotografia — per parlar solamente di tre grandi fattori del progresso — hanno esteso molto e rese più esatte le cognizioni intorno alle stelle, mentre l'invenzione dell'analisi spettrale ha gettato una luce interamente nuova sopra molti ed importanti problemi.

Il diretto successore di Guglielmo Herschel fu suo figlio, Giovanni Federico Guglielmo (1792-1871), il quale, non solo fu astronomo, ma portò anche parecchi e grandi contributi alle Matematiche pure, alla Fisica e alla nascente arte della Fotografia e alla Filosofia delle scoperte scientifiche. Co-

minciò la sua carriera astronomica circa il 1816, rimisurando, prima solo, poi insieme con *Giacomo South* (1785-1867), moltissime delle stelle doppie misurate da suo padre. Il primo risultato di questo lavoro fu un Catalogo, con misure particolareggiate di qualche centinaio di stelle doppie o multiple (pubblicato nel 1824), che forma un apprezzabile terzo termine di paragone con le osservazioni di suo padre (1781-82 e 1802-03). Venne confermato in diversi casi il lento movimento di rivoluzione, che era stato già accertato con le misure anteriori. Seguì a questo Catalogo un attento esame delle nebulose, d'onde risultò un Catalogo (1833) di quasi 2500 *nebule,* delle quali 500 erano nuove e 2000 osservate da suo padre, e poche da altri osservatori; incidentalmente furono esaminate più di 3000 coppie di stelle abbastanza vicine da essere registrate quali stelle doppie.

307. Di poi seguì la ben conosciuta spedizione al Capo di Buona Speranza (1833-1838), dove egli " spaziò „ i cieli del mezzogiorno quasi come suo padre aveva esplorato le plaghe visibili delle nostre latitudini. Quasi 1200 stelle doppie o multiple egli scoprì insieme con un numero piuttosto grande di nebulose, e 500 di esse già conosciute furono studiate di bel nuovo; spinse ancora molto innanzi lo scandaglio del cielo secondo le vedute di Guglielmo Herschel. Fece altresì molte altre interessanti osservazioni quasi incidentalmente durante questo studio, fra cui l'interessante stella variabile η d'Argo, e la nebulosa che la circonda (nella fig. 100 vien riprodotta l'immagine secondo una fotografia moderna), le maravigliose collezioni di gruppi di nebulose e di stelle, conosciute col nome di *Nubeculae* o *Nubi di Magellano,* e la Cometa di Halley; i due più deboli satelliti di Saturno noti in quel tempo (Cap. XII, § 255) furono, dopo la morte del suo scopritore, veduti allora per la prima volta.

Una indagine importante di carattere alquanto differente — quella della quantità di calore ricevuta dal Sole —

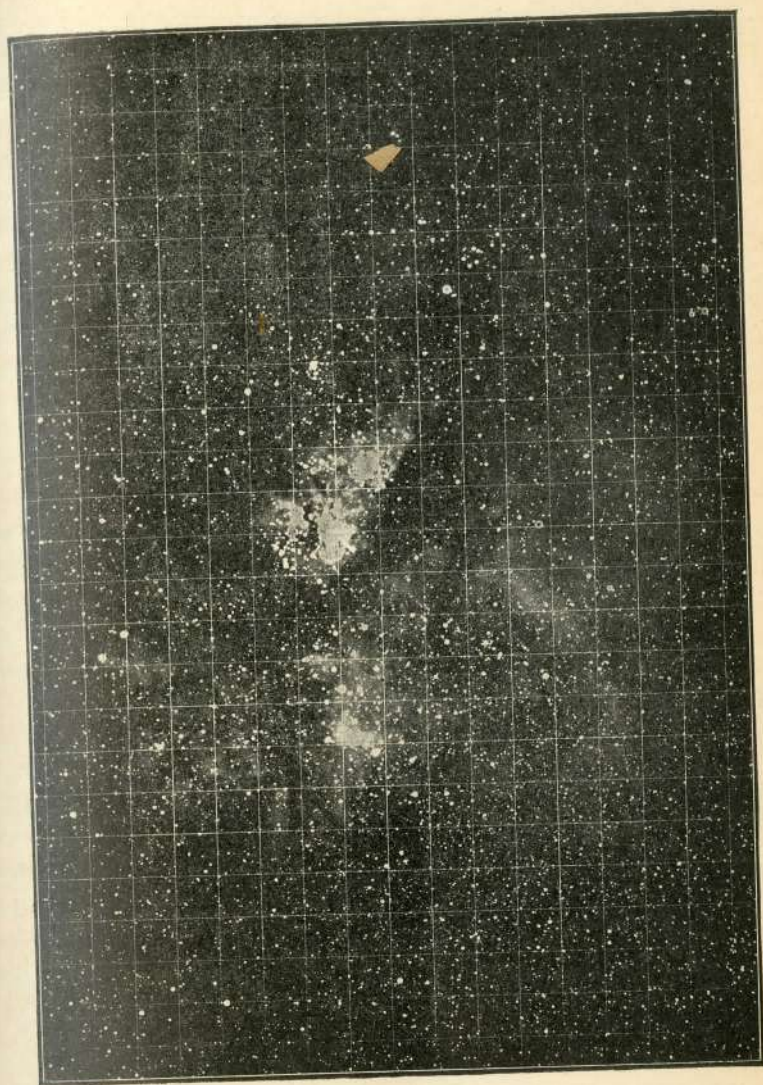
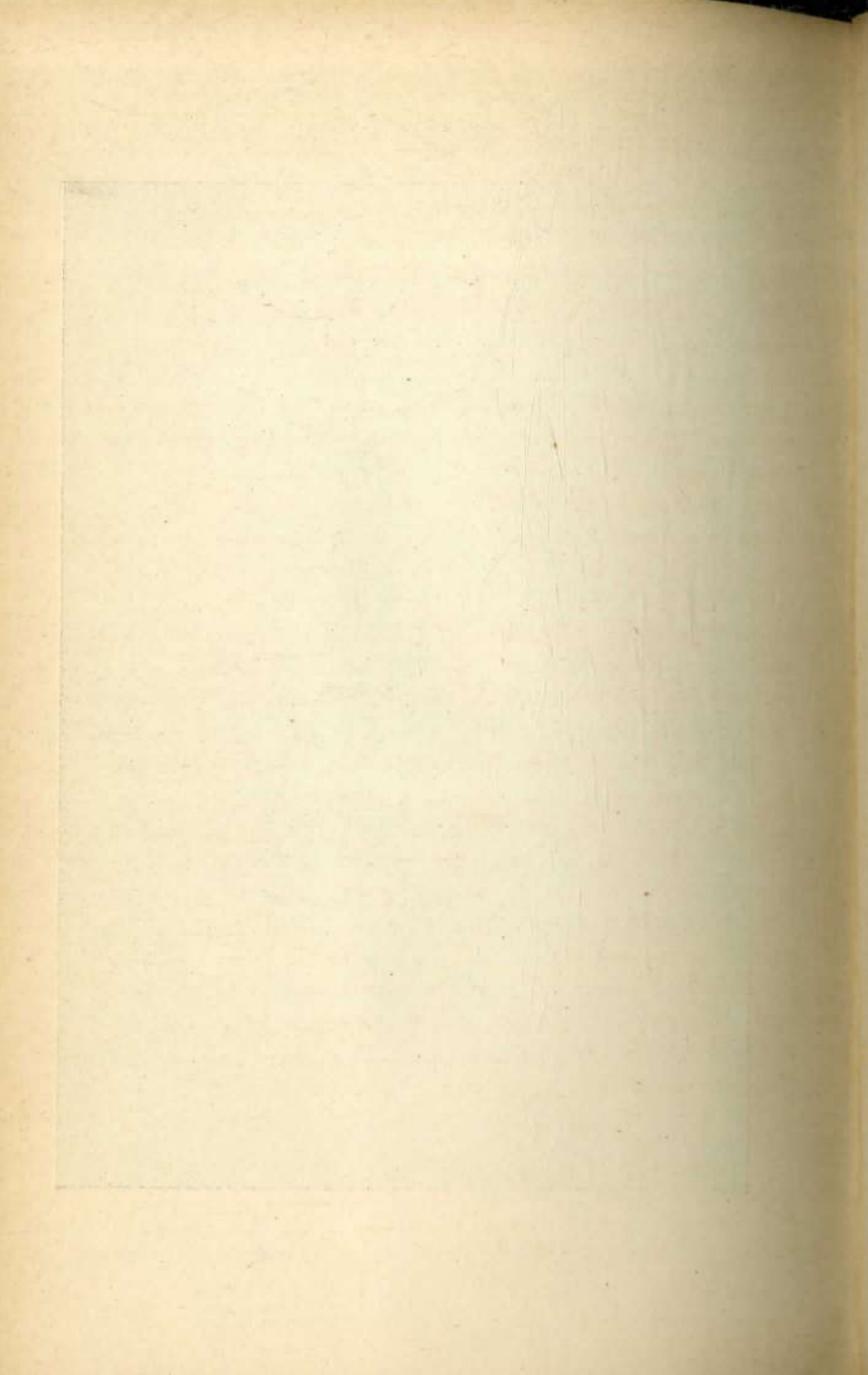



Fig. 100. — *La nebulosa vicino a* η Argo. — (*Da una fotografia del dott.* Gili).

fu spinta innanzi (1837) durante la residenza di Herschel al Capo; e il risultato si accordò assai bene con quello ottenuto indipendentemente e contemporaneamente in Francia da *Claudio Sernais Mattia Pouillet* (1791-1868). In ambedue i casi fu esattamente misurato il calore ricevuto sopra una unità di superficie, in un dato tempo, dalla luce solare diretta, evalutando l'assorbimento provocato dall'atmosfera; con che risultò la quantità di calore che la Terra in un anno riceve dal Sole, che è un'insignificante frazione $\left(\frac{1}{2,000,000,000}\right)$ della totalità della irradiazione solare nello spazio. Ma l'evalutazione della quantità di calore intercettato dalla nostra atmosfera era necessariamente incerta; ed ulteriori studî, in particolar modo quello fatto dal dott. *S. P. Langley* (1) nel 1880-81, dimostrano che fu calcolata tanto da Herschel quanto da Pouillet ben inferiore al suo valore reale. Secondo i risultati di Herschel, il calore ricevuto annualmente dal Sole — compreso quello intercettato dall'atmosfera — sarebbe sufficiente a sciogliere uno strato di ghiaccio dello spessore di 120 piedi, che coprisse la intiera Terra: secondo il dott. Langley lo strato potrebbe essere di 160 piedi di spessore (2).

308. Col suo ritorno in Inghilterra (1838) la carriera di Herschel come osservatore ebbe termine; ma per molti anni ancora lavorò intorno ai suoi risultati delle osservazioni fatte al Capo, nonchè ad ordinare ed a catalogare le scoperte sue e di suo padre. Un magnifico volume intorno ai *Resultati delle osservazioni astronomiche fatte negli anni 1834-38, al Capo di Buona Speranza*, fu pubblicato nel 1847; e nel 1864 fu presentato alla Società Reale un Catalogo di tutte le nebulose e i gruppi conosciuti, circa

---

(1) Samuele P. Langley 1834-1906. (*N. d. Tr*).

(2) Le osservazioni fatte sul Monte Bianco sotto la direzione di M. Janssen nel 1897, fornirono un valore alquanto maggiore di quello del dott. Langley.

5079, mentre un Catalogo di più di 10,000 stelle doppie e multiple non fu mai compiuto, benchè i materiali raccolti per esso fossero pubblicati postumi nell'anno 1879. Il gran Catalogo di nebulose di Giovanni Herschel è stato dipoi riveduto e aumentato dal dott. *Dreyer*, e ne risultò un elenco di 7840 nebulose e gruppi riconosciuti verso la fine del 1887; e un elenco supplementare di scoperte fatte nel 1888-94 e pubblicato dallo stesso autore ne registra altre 1529; così che il numero totale ora noto è fra 9000 e 10,000, delle quali più della metà sono state scoperte dai due Herschel.

309. Le stelle doppie sono state esaminate e studiate, oltre che dagli Herschel, da altri osservatori. Uno dei più infaticabili studiosi di questo ramo fu il maggiore degli *Struve* (§ 279), che fu successivamente direttore dei due Osservatorî di Dorpat e Pulkowa. In tutto egli osservò più di 2640 stelle multiple e doppie, misurando in ogni caso con diligenza la lunghezza e la direzione della retta che congiunge le due componenti, e notando altre particolarità, come sarebbero i contrasti di colore fra le componenti della doppia. Volse la sua attenzione soltanto a quelle stelle doppie, le cui componenti non erano distanti più di 32″, rifiutandone molte che William Herschel avrebbe accettato; siccome il numero delle stelle doppie conosciute cresceva con gran rapidità, naturalmente si trovò necessario di richiamare l'attenzione su quelle, che, secondo ogni probabilità, si sarebbero presto trasformate in binarie vere e proprie. (Cap. XII, § 264).

Oltre un numero grande di scritti minori, Struve pubblicò tre libri speciali sul medesimo soggetto nel 1827, 1837 e nel 1852 (1). Un confronto fra le sue prime osservazioni

(1) *Catalogus novus stellarum duplicium. Stellarum duplicium et multiplicium mensurae micrometricae et Stellarum fixarum imprimis duplicium et multiplicium positiones mediae pro epocha 1830.*

e le ultime, nonchè con le prime di Herschel, offrono circa 100 casi di cangiamenti di posizioni relative delle due componenti di una coppia che indicavano più o meno chiaramente un movimento di rivoluzione; ed altre osservazioni sono risultate dal confronto delle osservazioni di Struve con quelle di osservatori venuti dopo.

Le osservazioni di Guglielmo Herschel dei sistemi binari (Cap. XII, § 264) solo permisero di porre in evi-

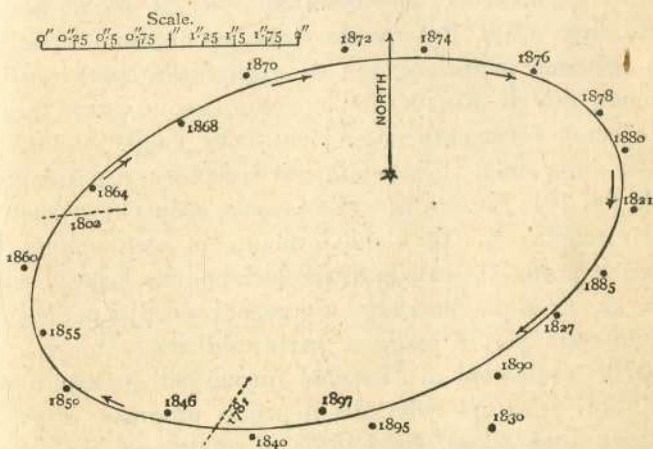



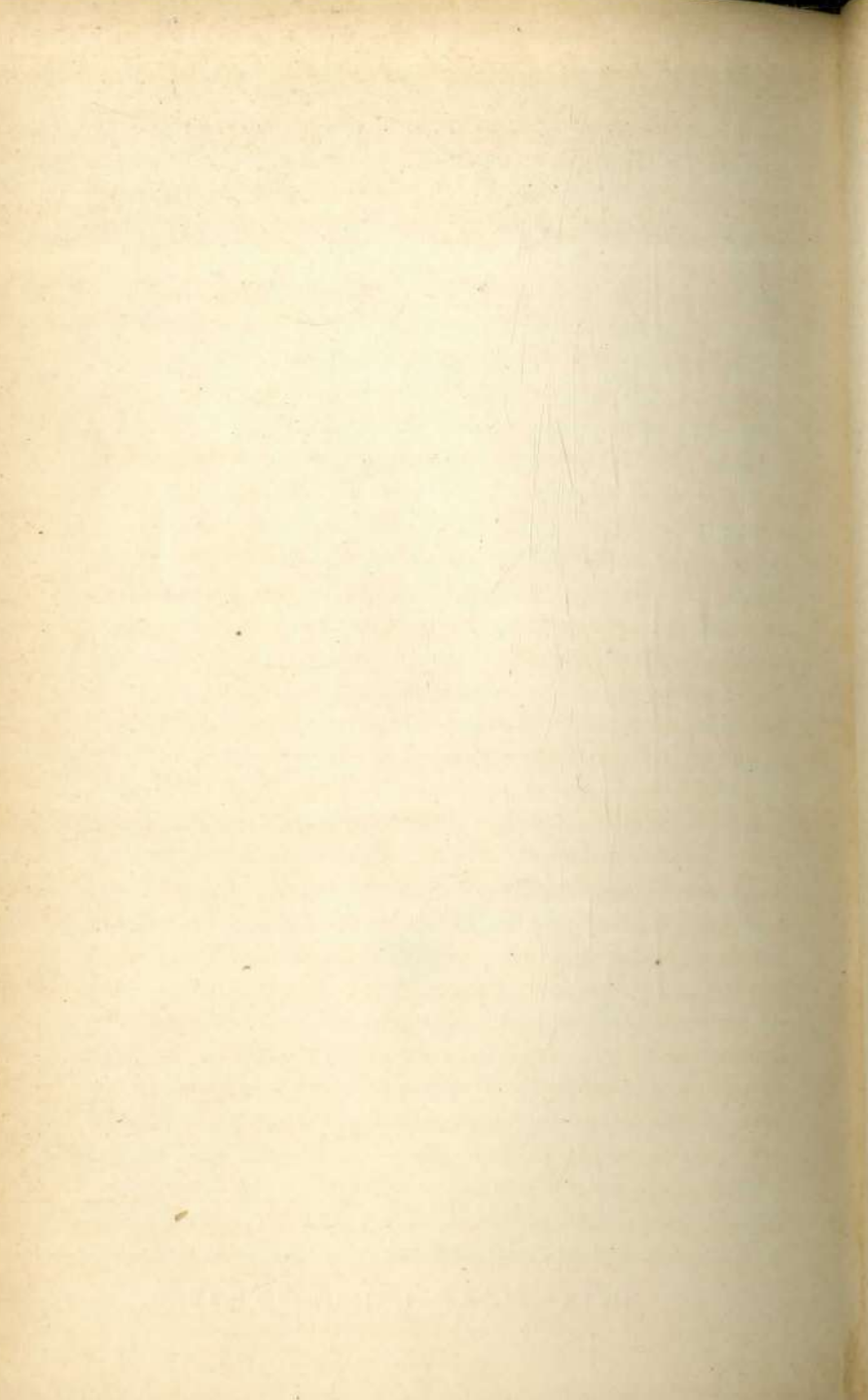
Fig. 101. — *L'orbita di* ξ Ursae, *che dimostra le* relative posizioni *delle due componenti a differenti tempi fra il 1781 ed il 1897. (Le osservazioni del 1781 e del 1802 forniscono soltanto gli angoli di posizione, ma non la distanza.*

denza il moto rivolutivo; era peraltro un'ovvia congettura il supporre che le due componenti di una coppia si attraessero fra loro secondo la legge di gravitazione, così che il movimento di rivoluzione sarebbe stato in gran parte analogo a quello di un pianeta intorno al Sole; così essendo, ogni stella della coppia doveva descrivere un'ellisse (o almeno qualche altra conica) intorno all'altra, od ognuna intorno al centro comune di gravità, secondo le leggi di Keplero, e l'orbita apparente, come è veduta sul cielo, sarebbe di questa natura, ma in generale raccor-

ciata dall' essere proiettata sulla sfera celeste. Il primo tentativo fatto per dimostrare che realmente così avveniva, fu quello di *Felice Savary* (1797-1841) nel 1827; egli potè dimostrare che la stella ξ *Ursae Majoris* compieva la sua rivoluzione in un periodo di quasi 60 anni.

Molte migliaia di stelle doppie sono state scoperte dai due Herschel, da Struve e da molti altri osservatori, compresi parecchi astronomi viventi, fra i quali tiene il primo posto il prof. *S. W. Burnham* di Chicago, che ne ha scoperte circa 1300. Fra queste stelle ve ne sono circa 300, che abbiamo molta ragione di riguardare come binarie; ma non più di 40 o 50 delle orbite possono essere riguardate come veramente note. Una delle meglio definite è quella della stella ξ *Ursae Majoris* di Savary, rappresentata nella fig. 101. Eccetto le stelle binarie, scoperte col metodo spettroscopico (§ 314) e che formano, in certo modo, una classe a parte, il periodo di rivoluzione, che è stato calcolato, va circa da dieci anni a parecchi secoli; i periodi più lunghi sono per la maggior parte addirittura incerti.

310. I telescopi di Herschel furono per qualche tempo i migliori telescopi riflettori; il primo progresso dipoi fu fatto da Lord *Rosse* (1800-1867), il quale — dopo diversi esperimenti di poco buon esito — finalmente riuscì a costruire (1845), a Parsonstown in Irlanda, un telescopio riflettore di quasi 60 piedi di lunghezza, con uno specchio che aveva 6 piedi di larghezza, e che per conseguenza era atto a ricevere il doppio di luce che non il gran telescopio di Herschel. Lord Rosse adoperò il grande strumento in principio a riesaminare molte nebulose già note, e durante gli anni seguenti fece la scoperta di nuove forme di nebulose; notevole è la scoperta di certe nebulose di forma spirale (fig. 102) e la risoluzione di certe nebulose in gruppi di stelle, che Herschel fu incapace di riconoscere per tali, e che perciò aveva classificato come " fluidi splendenti " (Cap. XII, § 260). Quest'ultima scoperta es-

Fig. 102. — *Nebulose spirali.* — (*Dai disegni di Lord* Rosse).

sendo esattamente analoga a quella di Herschel, quando egli cominciò pel primo ad esaminare le nebulose, sino allora osservate solo con telescopi inferiori al suo, naturalmente fece risorgere l'idea che le nebulose non potessero distinguersi dai gruppi di stelle, benchè molti argomenti suggeriti da Herschel ed altri come probabili furono in realtà semplificati in seguito alle nuove scoperte.

311. La questione più semplice " che cosa sia *una nebula* " si può dire sia stata posta fin dalla prima applicazione dell'analisi spettrale. Fraunhofer (§ 299) aveva veduto, fin dal 1823, che le stelle avevano spettri caratterizzati, come quelli del Sole, da linee oscure; e più complete indagini fatte subito dopo le scoperte di Kirchhoff, da parecchi astronomi, in particolar modo da Sir William Huggins e dall'eminente astronomo gesuita *Angelo Secchi* (1818-1878), confermarono questo risultato rispetto a quasi tutte le stelle osservate (1).

Il primo spettro di nebulosa fu ottenuto da Sir William Huggins nel 1864, e si notò che consisteva di tre linee *brillanti;* nel 1868 aveva esaminate 70 nebulose, ed aveva trovato, quasi in un terzo dei casi, compreso quello di Orione, un simile spettro di linee brillanti. In questi casi dunque la parte luminosa della nebulosa è allo stato di gas; e l'appellativo di Herschel di " fluidi splendenti " fu giustificato nel modo più chiaro. In quasi tutti i casi si vedono tre linee brillanti, una delle quali è la linea dell'idrogeno, e le altre due non sono state identificate; mentre, nel caso di poche delle più splendenti nebulose, altre linee pure sono state vedute. D'altra parte, un numero considerevole di nebulose, comprese molte di quelle che sono atte ad essere telescopicamente risolute quali gruppi di stelle, dànno

(1) Angelo Secchi, n. a Reggio Emilia e m. a Roma. Fu il fondatore (1851-52) del nuovo Osservatorio del Collegio Romano. (*N. d. Tr.*).

lo spettro continuo, cosicchè non vi è una chiara prova spettroscopica, che le distingua dai gruppi di stelle, poichè le linee scure vedute comunemente nello spettro di queste ultime si può appena sperare di vederle in tali *oggetti così deboli* come sono le nebulose.

312. Le stelle sono state classificate, prima dal Secchi (1863), dopo, con pochissima differenza, da altri, secondo la distribuzione delle linee oscure nei loro spettri, ed altresì si tentò di fondare su queste diverse presenze di linee le loro relative " età, " o per lo meno gli stadî di sviluppo delle diverse stelle.

Molte delle linee oscure negli spettri delle stelle furono identificate primieramente da Sir W. Huggins nel 1864 per linee di diversi elementi terrestri, come l'idrogeno, il ferro, il sodio, il calcio; cosicchè viene stabilita una certa relazione fra la composizione della nostra Terra e quella di corpi così lontani da noi come son le stelle.

Oltre le classi di stelle già menzionate, lo spettroscopio ha rivelato l'esistenza di una classe di stelle, tanto interessante quanto difficile ad interpretarsi, che sopportano diverse categorie e che sembrano essere un anello di congiunzione fra le stelle ordinarie e le nebulose; poichè, quantunque telescopicamente sia impossibile distinguerle dalle altre stelle, i loro spettri mostrano linee *brillanti* o regolarmente o periodicamente. Moltissime di dette stelle sono variabili; e parecchie " nuove " — stelle apparse e scomparse in questi ultimi anni — hanno rivelato tali caratteri.

313. La prima applicazione alle stelle fisse del metodo spettroscopico (§ 302) di determinare un movimento nella direzione visuale dell'osservatore fu fatta da Sir W. Huggins nel 1868. Un piccolissimo spostamento dalla sua normale posizione della linea oscura dell'idrogeno (*F*) si riscontrò nello spettro di Sirio, e fu interpretato che la stella si allontanava dal sistema solare con una velocità conside-

revole. L'anno seguente furono osservate molte altre simili stelle, ed il lavoro è stato ripreso dipoi da molti altri osservatori, specialmente a Potsdam, sotto la direzione del prof. *H. C. Vogel*, e a Greenwich.

314. Un'applicazione assai notevole di questo metodo a stelle binarie, è stata fatta recentemente. Se due stelle s'avvolgono l'una intorno all'altra, i loro movimenti di avvicinamento e di allontanamento dalla Terra cambiano regolarmente, e sono differenti; quindi, se si riceve la luce delle due stelle nello spettroscopio, si formano due spettri — uno per ogni stella — le cui linee sembrano oscillare regolarmente le une rispetto alle altre. Se una linea speciale, chiamata la linea *F*, comune ai due spettri, la osserviamo durante il movimento delle due stelle verso la Terra (oppure il contrario) con la stessa velocità — ciò che accade due volte ogni rivoluzione — si scopre una sola linea; ma quando esse si muovono differentemente, se lo spettroscopio è abbastanza potente da rilevare la più piccola diversità, la linea apparirà doppia, essendo una componente dovuta a una stella e l'altra all'altra. Uno sdoppiamento periodico di questa specie fu scoperto alla fine del 1889 dal prof. *E. C. Pickering*, di Harvard College (Cambridge), nel caso di *ζ Ursae*, che fu così per la prima volta ritrovata binaria, e che aveva il periodo assai breve di 104 giorni. Questa scoperta fu quasi immediatamente seguíta dall'altra del prof. Vogel, di un periodico cambiamento nella posizione delle linee oscure nello spettro della stella variabile Algol (Cap. XII, § 266); ma siccome in questo caso non si verifica nessuno sdoppiamento di linee, se ne conclude che la stella compagna è quasi o intieramente oscura, cosicchè, avvolgendosi ambedue una intorno all'altra, lo spettro della stella brillante cambia nel modo osservato. Così dunque la teoria d'un eclisse per ispiegare la variabilità di Algol ricevè una meravigliosa verificazione.

Moltissimi altri casi sono stati scoperti, appartenenti ad

ambedue le classi di stelle binarie spettroscopiche (come possono benissimo esser chiamate). La parte superiore della fig. 103 mostra lo sdoppiamento di una delle linee nello spettro della *stella doppia* β *Aurigae*, e la parte inferiore mostra lo spettro nel momento che la linea apparisce sola.

315. Molta attenzione è stata rivolta ad altre *stelle variabili* di specie diversa durante il secolo XIX, particolarmente nel decorso di questi ultimi anni. Circa 400 stelle sono ora indubbiamente riconosciute per variabili, mentre in altri casi la variabilità della luce rimane ancora incerta; salvo pochi esempi, come sarebbe quello di Algol, le cause della variabilità sono ancora assai oscure.

316. Lo studio dello splendore relativo delle stelle — ramo di Astronomia ora comunemente conosciuto col nome di *fotometria stellare* — ebbe grande sviluppo durante il secolo XIX ed ora è stato finalmente posto su basi scientifiche. La tradizionale classificazione delle stelle in grandezze, secondo il loro splendore, era quasi del tutto arbitraria ed addirittura incerta. Quando il confronto quantitativo del diverso splendore delle stelle cominciò ad essere trattato con qualche ampiezza, si sentì il bisogno di escogitare un sistema più preciso di classificazione. Giovanni Herschel fu uno dei precursori in tal materia; egli suggerì una scala capace di un'espressione precisa, e che si adattava, per quanto è possibile, alle stelle esaminate ad occhio nudo, coi metodi correnti; mentre al Capo egli misurò esattamente la luce di un gran numero di stelle brillanti, e le classificò secondo il principio che segue. Se si assume la scala ora generalmente adottata, suggerita la prima volta nel 1856 da *Norman Robert Pagson* (1829-1891), la luce di una stella di grandezza qualunque ha un rapporto fisso (che si assume 2,512...) con quella di una stella della prossima grandezza. Il numero è scelto in modo che una stella della sesta grandezza, come noi la definiamo, è cento volte più debole di una della prima gran-

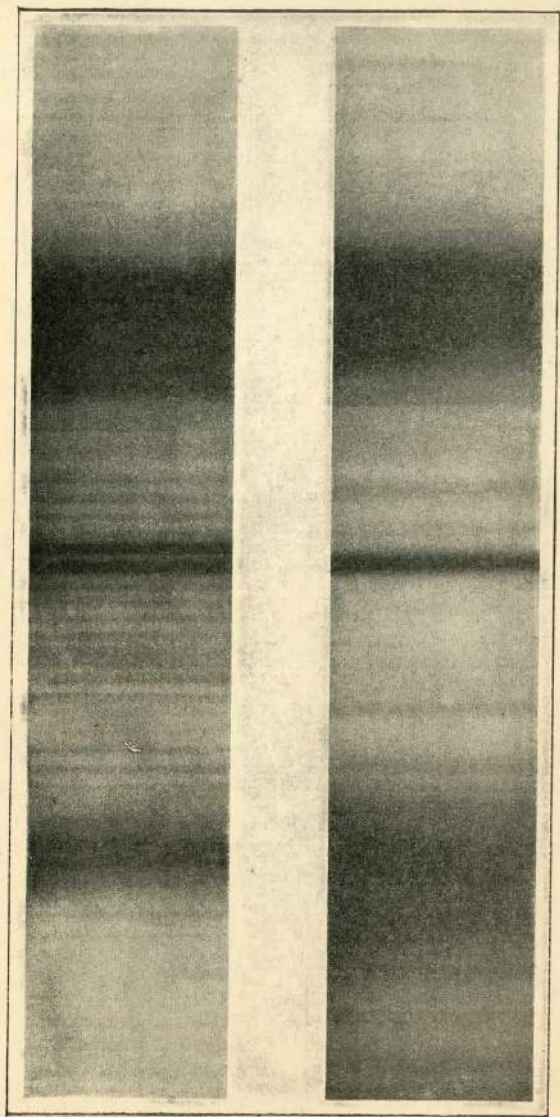
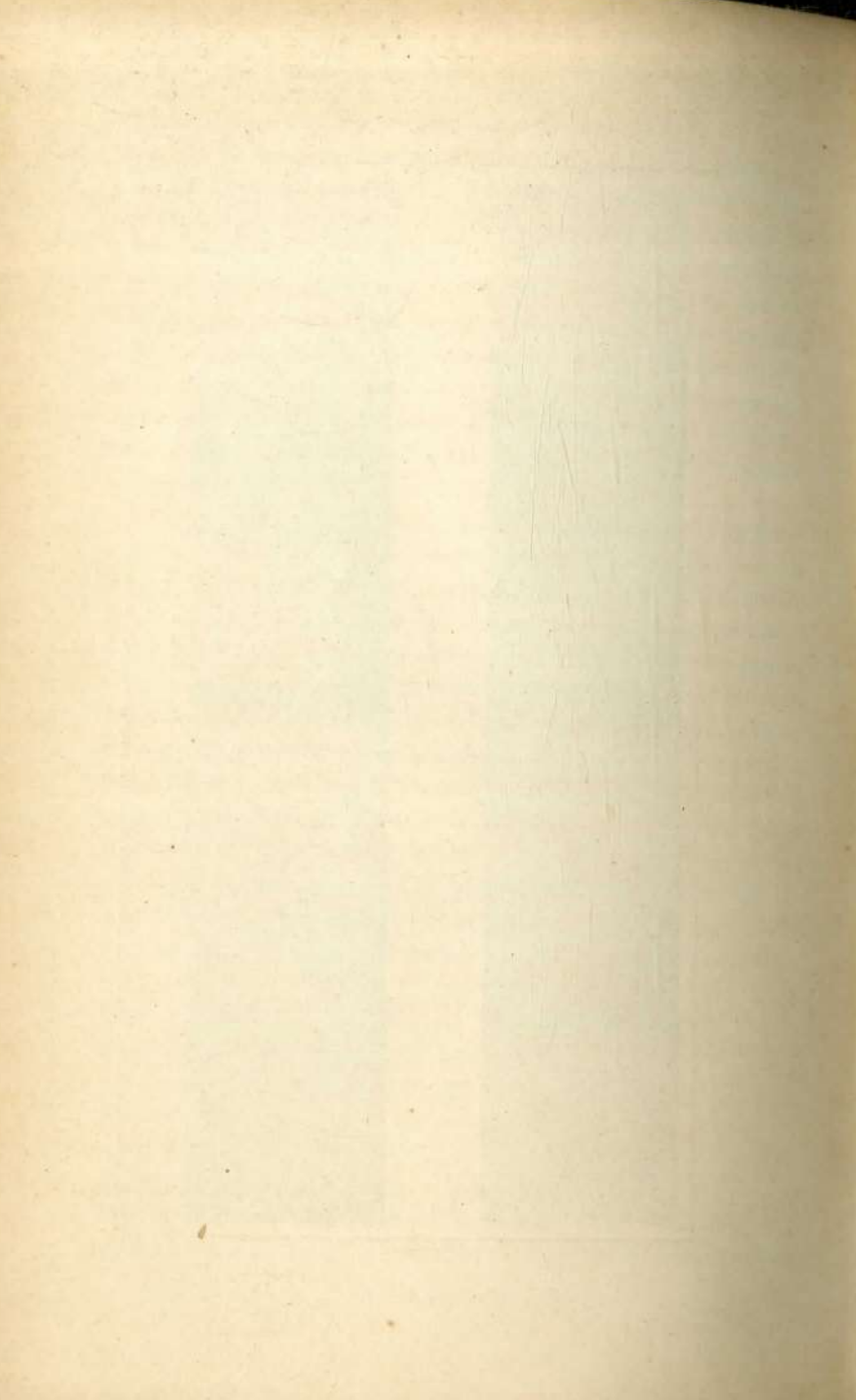



Fig. 103. — *Lo spettro di* β Aurigae, *mostrante la linea* K *semplice e doppia.* — (*Da una fotografia presa ad Harvard College Cambridge*).

dezza (1). Le stelle di splendore intermedio hanno grandezze espresse da frazioni che possono essere subito calcolate (secondo una semplice regola matematica), quando è conosciuto il rapporto della luce avuta da una stella con quella ricevuta da una stella presa per unità di misura (2).

La maggior parte dei grandi Cataloghi di stelle (§ 280) contengono il valore delle grandezze delle stelle. La più estesa ed esatta serie di valori dello splendore delle stelle è stata eseguita ad Harvard College (Cambridge) e ad Oxford sotto la rispettiva direzione del prof. E. C. Pickering e del defunto prof. Pritchard. Ambedue i Cataloghi contengono le stelle visibili ad occhio nudo; il Catalogo di Harvard (pubblicato nel 1884) comprende 4260 stelle fra il polo Nord e 30° di declinazione Sud, e la *Uranometria Nova Oxoniensis* (1885), come è chiamata, va solo fino a 10° Sud dell'Equatore e comprende 2784 stelle. Parti di più estesi Cataloghi, riferentisi a stelle più deboli, furono elaborate in seguito ad Harvard College e a Potsdam.

317. Il gran problema, su cui Herschel richiamò tanta attenzione, quello riguardante la generale distribuzione delle stelle e la struttura del sistema, se ve ne è uno, formato

---

(1) Cioè 2,512... è scelto essendo il numero, il cui logaritmo è 0,4, così che $(2{,}512...)^{\frac{5}{2}} = 10$.

(2) Sia L il rapporto dello splendore d'una stella di grandezza m e d'una stella di prima grandezza che si assume come unità, p. es., Aldebaran od Altair, allora la sua grandezza m è data dalla formola:

$$I = \left(\frac{1}{2{,}512}\right)^{m-1} = \left(\frac{1}{100}\right)^{\frac{m-1}{5}}, \text{ onde } m - 1 = -\frac{5}{2} \log. L.$$

Una stella più brillante di Aldebaran ha una grandezza minore di *uno*, mentre la grandezza di Sirio, che è circa nove volte più brillante di Aldebaran, è una quantità negativa, — 1,4, secondo la fotometria di Harvard College (Cambridge).

da esse e dalle nebulose, è stato modificato in molti modi in seguito ai progressi fatti nelle nostre cognizioni intorno alle stelle. Ma tanto lontani siamo da una soddisfacente soluzione del problema, che nessuna teoria moderna può a buon dritto rappresentare così bene i fatti ora a noi conosciuti, come le prime teorie di Herschel si adattavano al materiale più scarso e modesto, che aveva a sua disposizione. In questo, come in molti altri casi, il crescere del numero delle cognizioni ha mostrato la insufficienza di una teoria previamente accettata, ma non ha provveduto a trovarne un'altra da sostituire ad essa. Studi particolareggiati sulla forma della via Lattea (cfr. fig. 104) e sulla sua relazione con l'insieme delle stelle, hanno dimostrato la impotenza di qualche semplice distribuzione di stelle per rappresentare la sua figura; la macina da molino fessa di Guglielmo Herschel, l'anello che suo figlio voleva proporre come sostituzione ad essa dopo i suoi studi al Capo, e le forme più complicate proposte da scrittori venuti dipoi, tutte falliscono a causa delle loro inevitabili individualità. Di più, molti dei concetti di Herschel sopra una tal quale uniformità nelle dimensioni delle stelle si reggono quando le grandezze reali e apparenti di quelle si paragonano con le distanze per quanto noi sappiamo a proposito di queste. La teoria delle nebulose, dell' “Universo ad isole „ parzialmente abbandonata da Herschel dopo il 1791 (Cap. XII, § 260), ma rimessa in credito di nuovo dalle scoperte di Lord Rosse (§ 310) non sopravvisse gran che alle prove spettroscopiche del carattere gassoso di certe nebulose. Altra prova ha chiaramente dimostrato l'esistenza di relazioni fra nebulose e stelle in genere; l'osservazione di Herschel che le nebulose sieno più dense nelle regioni più lontane dalla via Lattea, è stata in seguito intensamente verificata — per quel che concerne le nebulose irriducibili — mentre i veri gruppi di stelle dimostrano del pari una evidente preferenza per la vicinanza della via Lattea. In

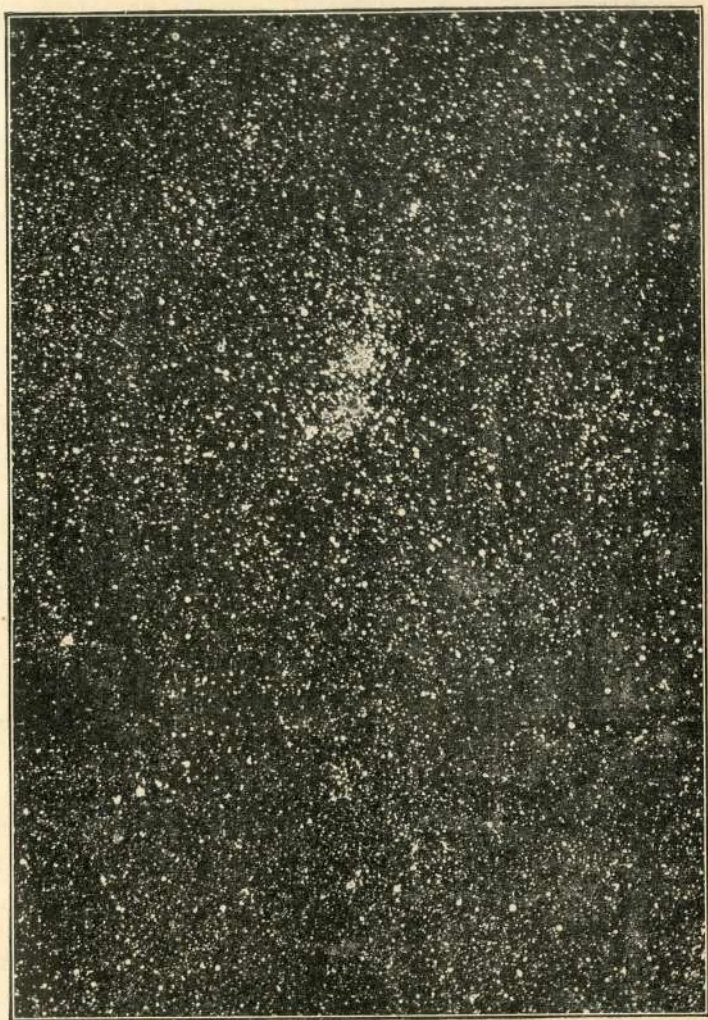
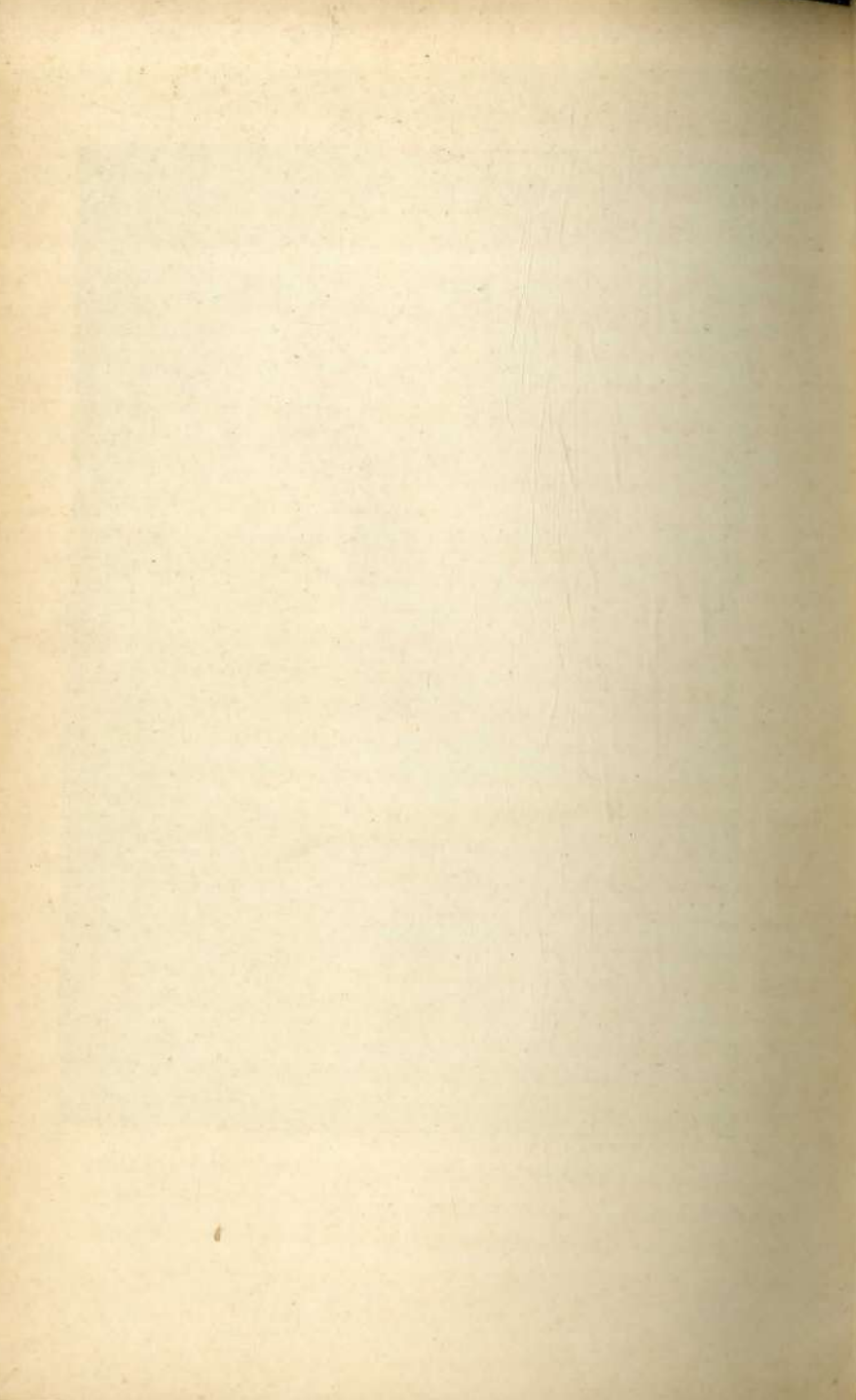



Fig. 104. — *La via Lattea vicino al gruppo di Perseo.*

(*Da una fotografia del prof.* BARNARD)

molti casi ancora, stelle isolate o gruppi di esse vedute nel cielo dentro o vicino ad una nebulosa, si sono riscontrati, sia dalla loro distribuzione, o, in qualche caso, dalla specialità dei loro spettri, che esse sono veramente collegate alle nebulose e non sono accidentalmente nella stessa direzione. Certe stelle, che presentano delle linee brillanti nei loro spettri (§ 312), formano un altro anello di congiunzione tra le nebulose e le stelle.

Gli studî moderni da più vie ci inducono a riconoscere una più grande varietà di disposizione, dimensione e struttura dei corpi celesti, quali oggi ci rivela il telescopio, che non ci fosse rivelato allorchè principiarono i seri studi di Astronomia siderale; detti studi ancora ci indicano la probabilità d'un unico sistema, per quanto inconcepibilmente complesso, piuttosto che diversi sistemi perfettamente distinti e a tipo più semplice.

318. La ipotesi “ nebulose „ di Laplace (Cap. XI, § 250) fu pubblicata poco più di un secolo fa (1796), ed è stata molto modificata per l'aggiunta di varie cognizioni astronomiche. Ulteriori scoperte di pianeti e satelliti (§§ 294, 295) hanno danneggiato in parte l'uniformità e la simmetria dei movimenti del sistema solare, nelle quali Laplace aveva riposto tanta importanza; ma non è impossibile di dare una ragionevole spiegazione del movimento retrogrado dei satelliti dei due pianeti più distanti, e della grande eccentricità ed inclinazione delle orbite di alcuni dei pianetini; mentre, all'infuori di queste eccezioni, il numero dei corpi, i cui movimenti hanno le caratteristiche date da Laplace, è notevolmente cresciuto. L'ipotesi di una speciale origine comune ai corpi del sistema solare ha forse, sotto quest'aspetto, guadagnato tanto, quanto ha perso. Inoltre la prova telescopica, che adduceva Herschel (Cap. XII, § 261) in favore dell'esistenza di certi processi di condensazione nelle nebulose, è stata rafforzata da una recente prova di evidenza e dalle diverse prove già riferite, che collegano

le nebulose alle stelle isolate ed ai gruppi di stelle. Le differenze negli spettri di stelle hanno pure la loro spiegazione soddisfacente, poichè essi rappresentano diversi stadi di condensazione dei corpi dello stesso carattere generale.

319. Una contribuzione intieramente nuova è stata portata al problema da alcune scoperte riguardanti la natura del calore, che considerano (già fin dal 1840-50) il calore come soltanto una forma di ciò, che i fisici chiamano *energia*, la quale si manifesta anche nel moto dei corpi, nella loro separazione mentre s'attraggono, come pure in altri fenomeni elettrici, chimici, ecc. Con questa scoperta andava parimenti e strettamente legata la teoria generale detta la *conservazione dell'energia*, secondo la quale tale energia, quantunque capace di molte trasformazioni, non può essere nè aumentata nè diminuita in quantità. Un corpo che, come il Sole, emette luce e calore, va perciò appunto perdendo energia come una macchina che lavori; in questo caso, o riceve energia da qualche sorgente che vada compensandolo, o il suo deposito di energia va diminuendo. Ed in verità un corpo che è sorgente perenne di luce e calore senza che il suo deposito di energia sia ricostituito, è precisamente analogo ad una macchina che cammini indefinitivamente senza che nessuna forza motrice la spinga innanzi; locchè è assurdo.

I risultati ottenuti da Giovanni Herschel e da Pouillet nel 1836 (§ 307) richiamarono l'attenzione sulla enorme dispersione di calore del Sole, e gli astronomi così ebbero da risolvere il problema come il Sole poteva irradiare indefinitamente luce e calore. Non nelle poche migliaia di anni di ricordi storici, non nell'enorme periodo del quale si rendono conto i geologi e i biologi, vi è manifestazione alcuna di cambiamento di qualche importanza e permanente nelle quantità di luce e di calore ricevuti annualmente dal Sole. Dunque nessuna teoria del calore del Sole può darci una spiegazione sicura delle perdite continue di

calore per un immenso lasso di tempo nella misura della quantità presente. La ovvia spiegazione di considerare il Sole come una fornace, che tragga il suo calore dalla combustione, è stata trovata addirittura inadeguata, allorchè si sottopone al calcolo, perocchè l'attività del Sole sarebbe ridotta a poche migliaia di anni. La spiegazione accettata presentemente fu la prima volta data dal grande fisico tedesco Ermanno von Helmholtz (1821-1894) in una conferenza popolare del 1854. Secondo questa teoria il Sole possiede una immensa quantità di energia, dovuta alla mutua gravitazione delle sue parti; se per caso il Sole si contraesse, una certa quantità della energia di gravitazione sarebbe perduta e prenderebbe altra forma. Nello stesso costipamento del Sole abbiamo tuttavia una nuova sorgente di energia; e quella quantità precisa di energia liberata dal contrarsi del Sole dipende dalla interna distribuzione di densità del Sole medesimo, che è in verità incerta; ma, facendo qualche razionale ipotesi, noi troviamo che la quantità di contrazione richiesta per rifornire la dispersione del calore, accorcerebbe il diametro soltanto di poche centinaia di piedi annualmente, e sarebbe perciò impercettibile al nostro potere telescopico per secoli, mentre i più antichi saggi sulle dimensioni del Sole non sono abbastanza accurati per indicarci ciò. È facile calcolare su questi stessi principii la quantità di energia sviluppata da un corpo come il Sole, nel contrarsi da uno stato di illimitata diffusione fino a ridursi allo stato presente, e dal presente stato ad uno di maggiore densità definita; il risultato è questo: che noi potremmo così spiegare una dispersione del calore solare nell'attuale proporzione per un periodo da essere computato a milioni di anni sia nei tempi passati che per i futuri; mentre se la quantità di dispersione fosse stata minore nei tempi passati o sarà minore nei futuri, il tempo dovrà essere aumentato in ragione della variazione. Nessuna altra causa fin qui suggerita è sufficiente a rendere conto

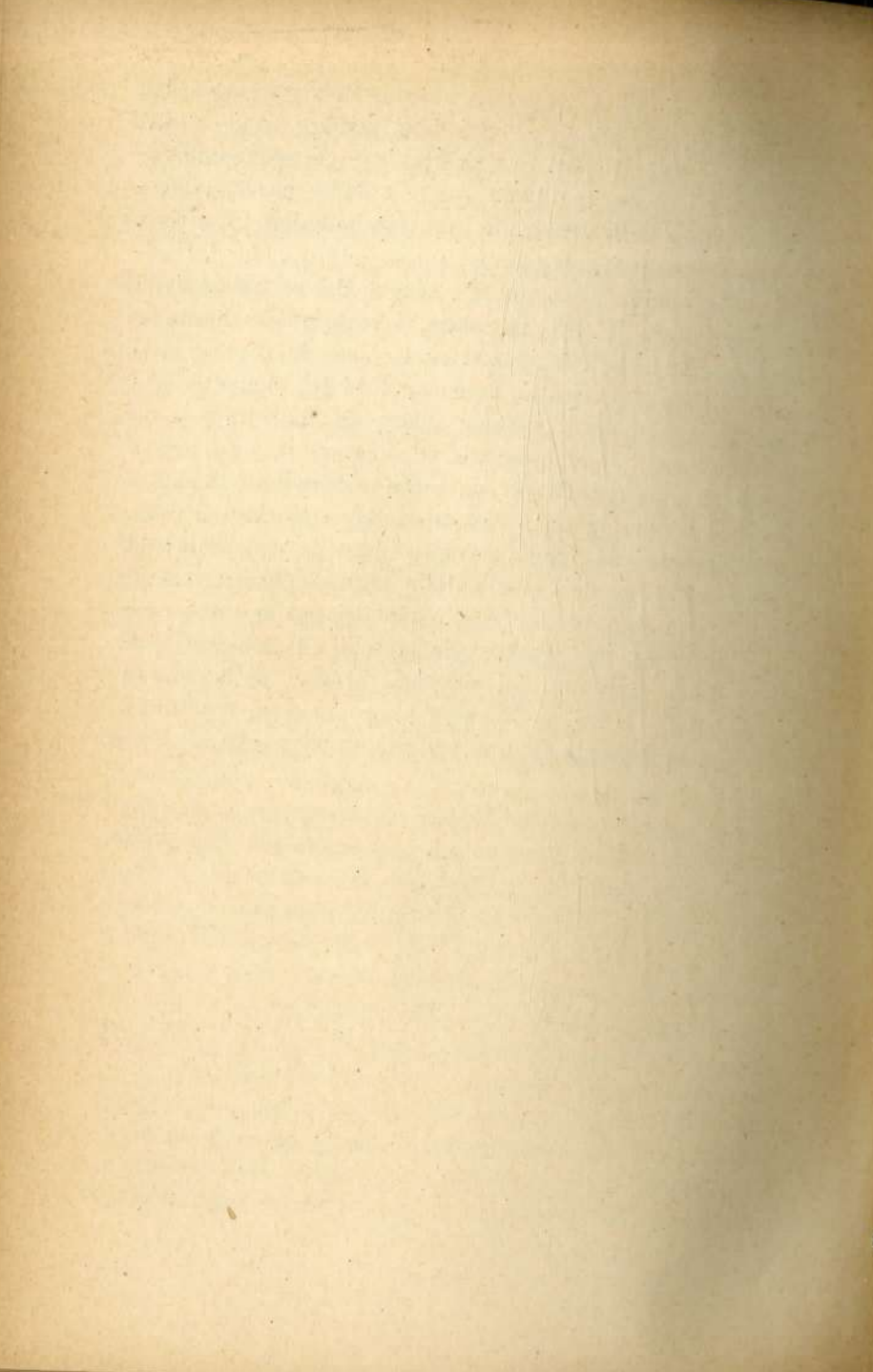
neppur per una piccola frazione della presente dispersione del calore solare; la teoria gravitazionale soddisfa a tutte le esigenze dell'Astronomia propriamente detta, e offre ad un tempo qualche via per rispondere alle questioni della biologia e della geologia.

Se quanto abbiamo detto noi lo accettiamo come teoria provvisoria, saremo condotti a concludere che il Sole fosse in passato più grande e meno denso che ora; e riandando il passato, noi lo troviamo in una condizione non diversa dalla supposta nebulosa di Laplace, facendo eccezione al calore che avrà avuto in quelle condizioni ben diverse dall'attuale.

320. Nuova luce è stata gettata sul possibile sviluppo della Terra e della Luna dagli studî del prof. G. H. Darwin sugli effetti dell'attrito delle maree (cfr. § 327 e §§ 292, 293). Dal momento che le maree aumentano la durata del giorno e del mese e gradualmente fanno allontanare la Luna dalla Terra, ne segue che nel passato la Luna era più vicina alla Terra che ora, e che perciò l'azione delle maree era molto maggiore. Attenendosi a questo, il prof. Darwin trovò, per mezzo di calcoli delicati pubblicati nel 1879-81, con evidente chiarezza, che per lo passato la Luna era vicinissima alla Terra, e ruotava intorno ad essa nel medesimo periodo di tempo, che impiega la Terra a ruotare intorno al suo asse; il qual tempo era allora poco più di due ore. I due corpi infatti si movevano come se fossero congiunti l'uno all'altro; ed è difficile non supporre che in passato non formassero un sol corpo, e che la Luna non sia in realtà che un frammento della Terra, lanciato lontano o dalla rapidissima rotazione di essa od altrimenti.

Il prof. Darwin ha pure esaminato la possibilità di spiegare analogamente la formazione dei satelliti degli altri pianeti, e dei pianeti stessi dal Sole, ma le condizioni del sistema terro-lunare sono alquanto eccezionali, e l'influenza delle maree è stata in altri casi meno efficace,

quantunque essa dia una spiegazione soddisfacente a certe particolarità dei pianeti e dei loro satelliti. Più recentemente (1892) il dott. *See* ha applicato le medesime vedute per spiegare, mediante l'azione delle maree, la formazione delle *stelle doppie*, da uno stato nebuloso primitivo.

Generalmente parlando, noi possiamo dire, che il risultato dello studio, fatto nel XIX secolo, del problema della primitiva storia del sistema solare, è stato quello di screditare i particolari della ipotesi di Laplace in diverse maniere; ma da esso risultò, anche su basi più sicure, la credenza generale che il sistema solare sia stato formato da un processo di condensazione verificatosi in una massa diffusa, che rassomigliava vagamente ad una delle nebulose vedute col telescopio; e che le stelle, compreso il Sole, probabilmente sono state formate in modo consimile; ed inoltre, la teoria dell'attrito delle maree suffraga questa generale ma vaga teoria, dando una spiegazione razionale di un processo, che sembra sia stato il fattore predominante nello sviluppo del sistema formato dalla nostra Terra e dalla Luna, e di avere avuto in ogni modo una influenza importante in una infinità di altri casi.

FONTI E LIBRI PER GLI STUDIOSI

I. In generale.

Io ho fatto molto uso, dal principio alla fine, della *Geschichte der Astronomie,* di R. Wolf, e dei sei volumi della *Histoire de l'Astronomie* (*Ancienne*, 2 vol. ; *du Moyen-Age*, 1 vol. ; *Moderne*, 2 vol. ; *du Dixhuitième Siècle,* 1 vol.) di Delambre.

In seguito io richiamerò queste opere indicando solo Wolf e Delambre rispettivamente. Ho adoperato più raramente la parte astronomica della *History of the Inductive Sciences*, di Whewell (che richiamerò solo con Whewell) e son debitore — principalmente per i dati e le note — alle storie delle Matematiche rispettivamente del Marie, di W. W. Rouse Ball e del Cajori, al *Handwörterbuch der Exacten Wissenschaften,* di Poggendorf ed agli articoli di diversi dizionari biografici, enciclopedie, e giornali scientifici. Pel mio scopo mi sono stati molto utili i trattati generali di Astronomia: *Popular Astronomy,* di Newcomb; *General Astronomy*, dello Young, e *Old and New Astronomy,* di Proctor.

È difficile fare una scelta fra il grandissimo numero di libri di Astronomia, che sono adatti pel comune lettore. Agli studiosi, che desiderano una prima preparazione in Astronomia, si possono raccomandare il *Primer of Astronomy,* dell'Astronomo Reale; gli *Elements of Astronomy* di Young, per quelli un po' più avanzati; e la *Story of the Heavens,* di Sir R.S. Ball, la *Popular Astronomy,* di Newcomb, e l'*Old and New Astronomy,* di Proctor, che trattano dell'argomento assai più

particolareggiatamente. La *General Astronomy* di Young può anche essere raccomandata a quelli che non temono affrontare un po' di Matematica. Vi sono pure tre libri inglesi moderni che trattano generalmente della storia dell'Astronomia, e nei quali la parte biografica è maggiormente sviluppata che nella presente opera; e cioè: *Great Astronomers*, di Sir R. S. Ball; *Pioneers of Science*, di Lodge, e *Heroes of Science: Astronomers*, di Morton.

II. In periodi speciali.

Cap. I e II. — Oltre alle storie ordinarie citate più sopra — particolarmente Wolf — ho fatto molto uso delle *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie Ancienne*, di Tannery, e di parecchi articoli biografici (principalmente quelli di De Morgan) nel *Dictionary of Classical Biography and Mythology*, di Smith, *Chronologische Untersuchungen* di Ideler, *Geschichte der Mathematik im Alterthum und Mittelalter*, di Hankel; *Astronomy of the Ancients*, di G. C. Lewis, e *Astronomisches aus Babylon*, di Epping e Strossmaier, sono stati da me citati abbastanza largamente. Disgraziatamente la mia attenzione fu richiamata sul *Geschichte der Griechischen Litteratur in der Alexandriner Zeit*, di Susemihl, solo quando gran parte della mia opera era in corso di stampa, ed io perciò non ho potuto fare che ben poco uso di detto lavoro.

Cap. III. — La storia dell'Astronomia occidentale è stata principalmente fondata su Delambre e su *Geschichte der Mathematik im Alterthum und Mittelalter*, di Hankel, ed un po' meno su Whewell. Per quella orientale, io ho fatto maggior uso di Whewell, ed ho adoperato il materiale biografico per gli scrittori inglesi dal *Dictionary of National Biography*. Ho pure consultato un gran numero di libri astronomici originali, richiamati nell'ultima parte del capitolo.

Non conosco altro libro inglese adatto per gli studiosi, all'infuori di quello di Whewell.

Cap. IV. — Per il materiale biografico, per le notizie riguardanti gli scritti minori, e così per la storia dellà pubblicazione del *De Revolutionibus*, ho usato il breve ma elaborato *Nicolaus Coppernicus* di Prowe ed i documenti pubblicati in esso. Il mio accenno sul *De Revolutionibus*, è preso dal libro stesso. Il ritratto è preso da un' incisione di una pittura di Dandeleau in possesso di Lalande. Io non sono stato capace di scoprire qualche ritratto che fosse stato fatto con sicurezza quando Copernico viveva, ma la stretta somiglianza fra parecchi ritratti del XVII secolo e quello di Dandeleau sembra dimostrare che quest'ultimo sia veramente autentico.

Vi è un'amena storia di Copernico, come pure di parecchi altri astronomi, nei *Fondateurs de l'Astronomie Moderne*, del Bertrand; ma io non ho adoperato questo libro come fonte.

Cap. V. — Per la vita di Tycho mi son basato principalmente su *Tycho Brahe*, di Dreyer, che è anche stato adoperato come guida alla sua opera scientifica; ma io ho sempre richiamato gli scritti originali; ho anche fatto qualche uso della *Vita Tychonis Brahe*, di Gassendi. Il ritratto è una riproduzione di una pittura che possedeva il dott. Crompton di Manchester, descritto da lui nelle *Memoirs of the Manchester Literary and Philosophical Society*, vol. VI, ser. III. Per gli scrittori minori del continente mi son servito principalmente di *Wolf* e *Delambre*, e per gli scrittori inglesi di *Whewell*, di diversi articoli di De Morgan, citati da lui e di articoli del *Dictionary of National Biography*.

Gli studiosi troveranno nel libro di Dreyer tutto quello che probabilmente non conoscono su Tycho.

Cap. VI. — Per la vita di Galileo mi sono principalmente servito dell'opera *Galilei und die Römische Curie*, di Karl von Gebler, in parte nella edizione originale tedesca ed in parte nell'ultima edizione inglese (tradotta dal signor Sturge). Per le questioni controverse, riguardanti il processo, io ho attinto, per quanto mi è stato possibile, ai documenti originali conservati nel Vaticano, che sono stati pubblicati da von Gebler ed indipendentemente da l'Épinois in *Les pièces du Procès*

de Galilée: nell'ultimo libro qualcuno dei documenti più importanti sono riprodotti in *fac-simili.* Per le caratteristiche personali ho adoperato l'affascinante *Private Life of Galileo, compiled chiefly from his correspondence and that of his daughter Marie Céleste.* Lessi con grande interesse e probabilmente ricevetti l'impronta d'apprezzamenti per stimare l'opera di Galileo dallo scritto « Galileo » di H. Martin. Ciò che io ho detto intorno al lavoro scientifico di Galileo, è stato fondato quasi intieramente sullo studio delle sue proprie opere, o negli originali o nelle traduzioni: ho adoperato volentieri le traduzioni del Dialogo sui Due Massimi Sistemi del Mondo e della *Lettera alla granduchessa Cristina,* di Salusbury, quelle delle *Due nuove scienze,* di Weston (così pure quello di Salusbury), e quella del *Messaggero Sidereo,* di Carlos. Ho pure usato alquanto di diversi opuscoli di controversia scritti dai nemici di Galileo, che sono stati trovati (insieme ai suoi commenti su essi) nella splendida edizione nazionale delle sue opere, ora in corso di pubblicazione; e della storia critica delle contribuzioni di Galileo alla Dinamica, contenute nel *Geschichte der Mechanik,* del Mach.

Wolf e *Delambre* sono stati solo adoperati in piccolissima misura in questo capitolo, principalmente per gli scrittori minori che vi sono richiamati.

Il ritratto è una riproduzione di uno di Sustermans della Galleria degli Uffizii.

Avvi un'eccellente storia popolare della vita e dell'opera di Galileo nelle *Lives of Eminent Persons,* pubblicato dalla Società per la diffusione delle cognizioni utili; gli studiosi, che sentono il bisogno di notizie più complete intorno alla vita di Galileo, leggeranno l'opera di Gebler e la *Private Life,* che è già stata citata; e sono molto da raccomandarsi in ogni modo la lettura di alcune parti dei *Dialoghi sui due massimi sistemi del Mondo,* o nell'originale o nella pittoresca vecchia traduzione di Salusbury; vi è anche una traduzione moderna di quest'opera, così pure delle *Due nuove scienze,* nelle serie di *Klassiker der exakten Wissenschaften* di Ostwald.

Nel trattare della vita di Kepler usai specialmente *Wolf* e utilizzai anche — per la vita o meglio per il materiale biografico — Frisch nell'ultimo volume della sua edizione delle opere di Keplero, nonchè il piccolo contributo di Breitschwerdt, « *Giovanni Keplero.* » Per le scoperte scientifiche di Kepler ho fatto principalmente uso dei suoi propri scritti; ma sono debitore non poco a *Wolf* e *Delambre,* particolarmente per informazioni riguardanti le sue opere minori. Il ritratto è una riproduzione di uno di Nordling, dato nella edizione di Frisch. Le *Lives of Eminent Persons,* già citate, contengono pure un'eccellente storia popolare della vita e dell'opera di Kepler.

Cap. VIII. — Ho fatto principalmente uso di *Wolf* e *Delambre;* per gli astronomi inglesi Gascoigne e Horrocks ho adoperato *Whewell* e gli articoli nel *Dict. Not. Biog.* Ciò che ho detto circa l'opera di Huygens è preso direttamente dai libri suoi, che sono stati citati nel testo; e per punti speciali ho consultato i *Principia,* di Descartes e ben poco gli estesi scritti di Cassini.

Non vi è nessun libro facile da raccomandarsi per gli studiosi.

Cap. IX. — Per i fatti esteriori riguardanti la vita di Newton, mi son riferito principalmente alle *Memoirs of Sir Isaac Newton,* di Brewster; e per la storia dello sviluppo delle sue idee sull'argomento della gravitazione ho fatto largamente uso dell'*Essay on Newton's Principia,* di W. W. Rouse Ball, e dei documenti originali in essa contenuti. Ho pure usato alquanto gli articoli su Newton della *Encyclopaedia Britannica* e del *Dictionary of National Biography;* così pure della *Correspondence of Scientific Men of the Seventeenth Century,* di Riguad; della *Correspondence of Sir Isaac Newton's and Prof. Cotes,* di Edleston, e dell'*Account of the Rev.d John Flamsteed,* di Baily. Il ritratto è una riproduzione di uno di Kneller.

Agli studiosi si raccomanda di leggere il libro di Brewster, sopra citato, o il riassunto detto *Life of Sir Isaac Newton,*

dello stesso autore. Le leggi del moto sono discusse in gran parte dai libri di testo odierni di Dinamica; la migliore trattazione, che ho conosciuto delle diverse difficoltà riguardanti queste leggi, trovasi in un articolo di W. H. Macaulay nel *Bulletin of the American Mathematical Society*, ser. II, volume III, n. 10, luglio 1897.

Cap. X. — Per *Flamsteed* ho fatto uso principalmente dell'*Account of the Rev.d John Flamsteed;* per Bradley ben poco le *Miscellaneous Works and Correspondence of the Rev.d James Bradley* (edita da Rigaud), da cui è stato preso il ritratto. La mia storia dell'opera di Halley è fondata largamente sui suoi propri scritti; avvi una buona quantità di informazioni biografiche, che la riguardano nei libri già citati riferentisi a Newton ed a Flamsteed, e vi è un articolo importante su di esso nel *Dictionary of National Biography.* Io ho fatto abbastanza uso in questo capitolo di *Wolf* e *Delambre*, specialmente trattando degli astronomi continentali, e in alcune parti speciali del soggetto ho usato la *History of the Mathematical Theoric of Attraction and the Figurees of the Earth,* di Todhunter, e della *Density of the Earth,* di Poynting.

Cap. XI. — Gran parte del materiale biografico è stato preso da *Wolf,* dagli articoli delle diverse enciclopedie e dizionari biografici, principalmente francesi, e dall'*Éloge,* di Lagrange del Delambre. I due ritratti sono rispettivamente presi dall'edizione di Serret delle *Oeuvres de Lagrange* e dall'edizione dell'Accademia delle *Oeuvres complètes de Laplace.* L'*Essai Historique sur le Problème des trois Corp,* di Gautier, e l'*History of Physical Astronomy,* del Grant, sono stati i libri che ho maggiormente usati per la mia istoria delle contribuzioni scientifiche dei diversi astronomi menzionati; ho inoltre consultato anche diversi trattati moderni sulla Astronomia gravitazionale, specialmente la *Mécanique Celeste,* del Tisserand, la *Lunar Theory,* di Brown, e un po' meno la *Planetary Theory,* di Cheyve, e la *Gravitation,* di Airy. Per alcuni punti speciali ho fatto uso della *History,* di Todhunter, già

sopra citata. Degli scritti originali ho fatto molto uso della *Mécanique Céleste*, di Laplace, così pure del suo *Système du Monde*; ho pure consultato un certo numero di altri suoi scritti e di quelli di Lagrange e Clairaut; ma non ho fatto alcuno studio sistematico di essi.

Gli studiosi che desiderassero più davvicino conoscere la Meccanica celeste, ma non abbiano che poche cognizioni di Matematica, dovrebbero tentare di leggere la *Gravitation*, di Airy, *Outlines of Astronomy*, di Herschel e l'*History*, di Grant, già sopra citata, che anche tratta del soggetto senza impiegare la Matematica, e sono abbastanza intelligibili.

Cap. XII. — La storia della carriera di Herschel è presa principalmente dalla *Memoir of Caroline Herschel*, di John Herschel, dal *The Herschel and Modern Astronomy*, della signora A. M. Clerke, dalla *Popular History of Astronomy in the Nineteenth Century*, della stessa autrice, e dal *Sir William Herschel*, *his Life and Works*, di Holden. I tre ultimi libri e la *Synopsis and Subject Index to the Writings of Sir William Herschel*, *l*di Holden e Hastings, sono stati le principali mie guide nella lunga serie delle note di Herschel; ma quasi ogni cosa che io ho detto circa alle principali parti della sua opera è fondata sopra i suoi propri scritti. Ho anche alquanto usato la *History* (già citata), del Grant, il *Wolf*, ed il *System of the Stars*, della signora Clerke.

Agli studiosi si raccomanda di leggere qualcuno o tutti i primi quattro libri sopra nominati; la *Memoir* dà un'affascinante descrizione della vita privata di Herschel, e specialmente delle sue relazioni con la sorella. Avvi pure una buona storia critica dell'opera di Herschel nell'Astronomia siderale, nell'*Old and New Astronomy*, in Proctor.

Cap. XIII. — All'infuori degli articoli che trattano della Dinamica celeste, ho sempre fatto uso della *History*, della signora Clerke, già citata; libro che gli studiosi dovrebbero leggere; nel trattare la prima metà del secolo mi sono servito largamente della *History*, del Grant. Ma gran parte del materiale pel capitolo è stato attinto da un gran numero di

fonti — consistenti larghissimamente degli scritti originali degli astronomi di cui si parla — che sarebbe difficile ed appena varrebbe la pena di enumerare; per la vita degli astronomi (specialmente per quella degli inglesi), così pure per la recente storia astronomica, di ordinario mi sono molto servito delle necrologie e dei riassunti sul progresso della Astronomia, che compaiono annualmente nella *Monthly Notices*, della Società astronomica.

Ora aggiungo i nomi di alcuni libri, che trattano parti speciali dell'Astronomia moderna in un modo non tecnico.

The Sun, C. A, Young; *The Sun*, R. A. Proctor; *The Story of the Sun*, R. S. Ball; *The Sun's Place in Nature*, J. N. Lockyer.

The Moon, E Neison; *The Moon*, T. G. Elger.

Saturn and its Systeme, R. A. Proctor.

Mars, Percival Lowell.

The World of Comets, A. Guillemin (libro ben illustrato ma non critico, ora un po' vecchio); *Remarkable Comets*, W. T. Lynn (piccolissimo libro ricco di utili informazioni); *The Great Meteoritic Shower of November*, W. F. Denning.

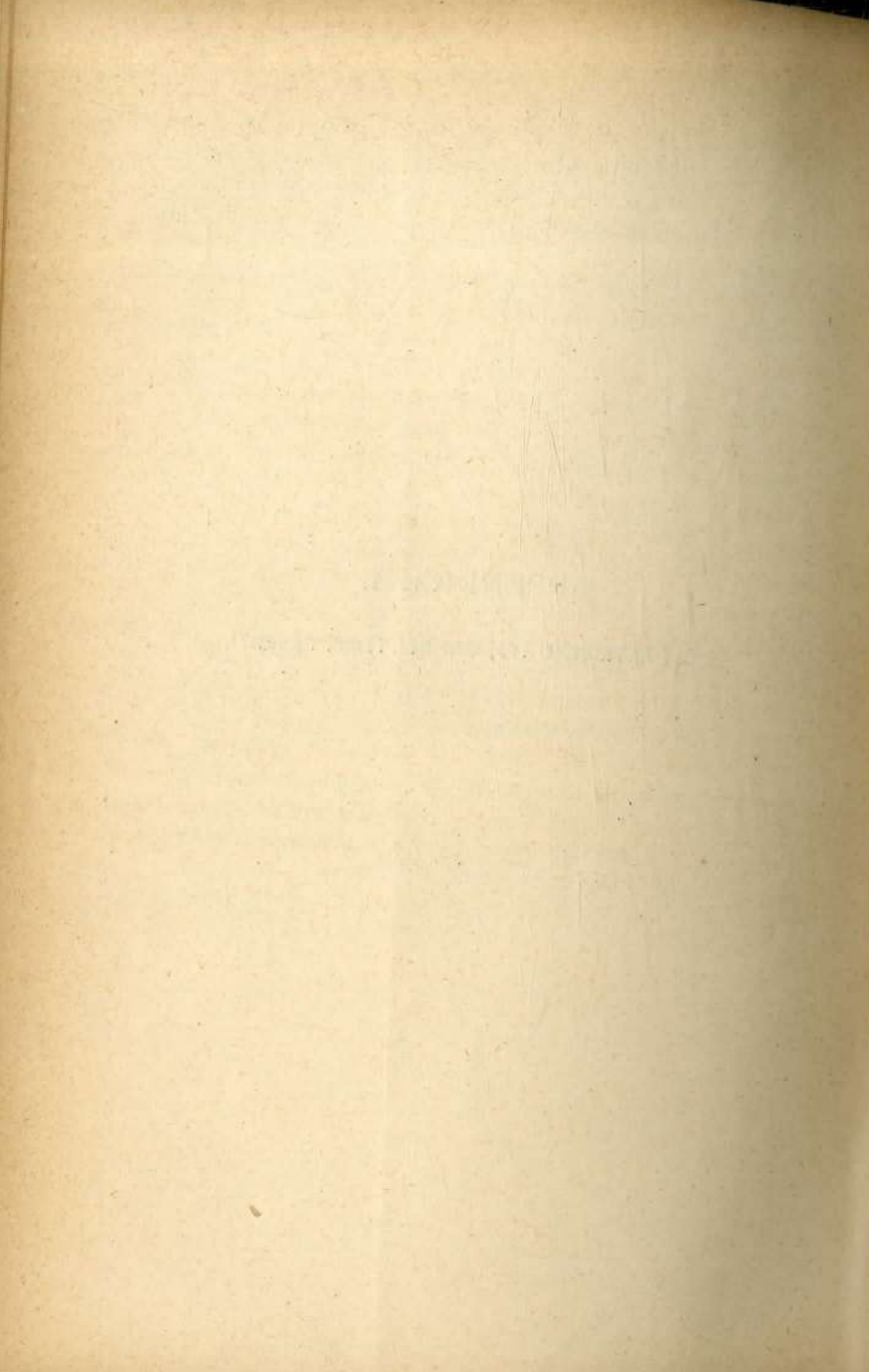
The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System, G. H. Darwin.

Remarkable Eclipses, W. T. Lynn (dello stesso carattere del suo libro sulle comete).

The System of the Stars, A. M. Clerke.

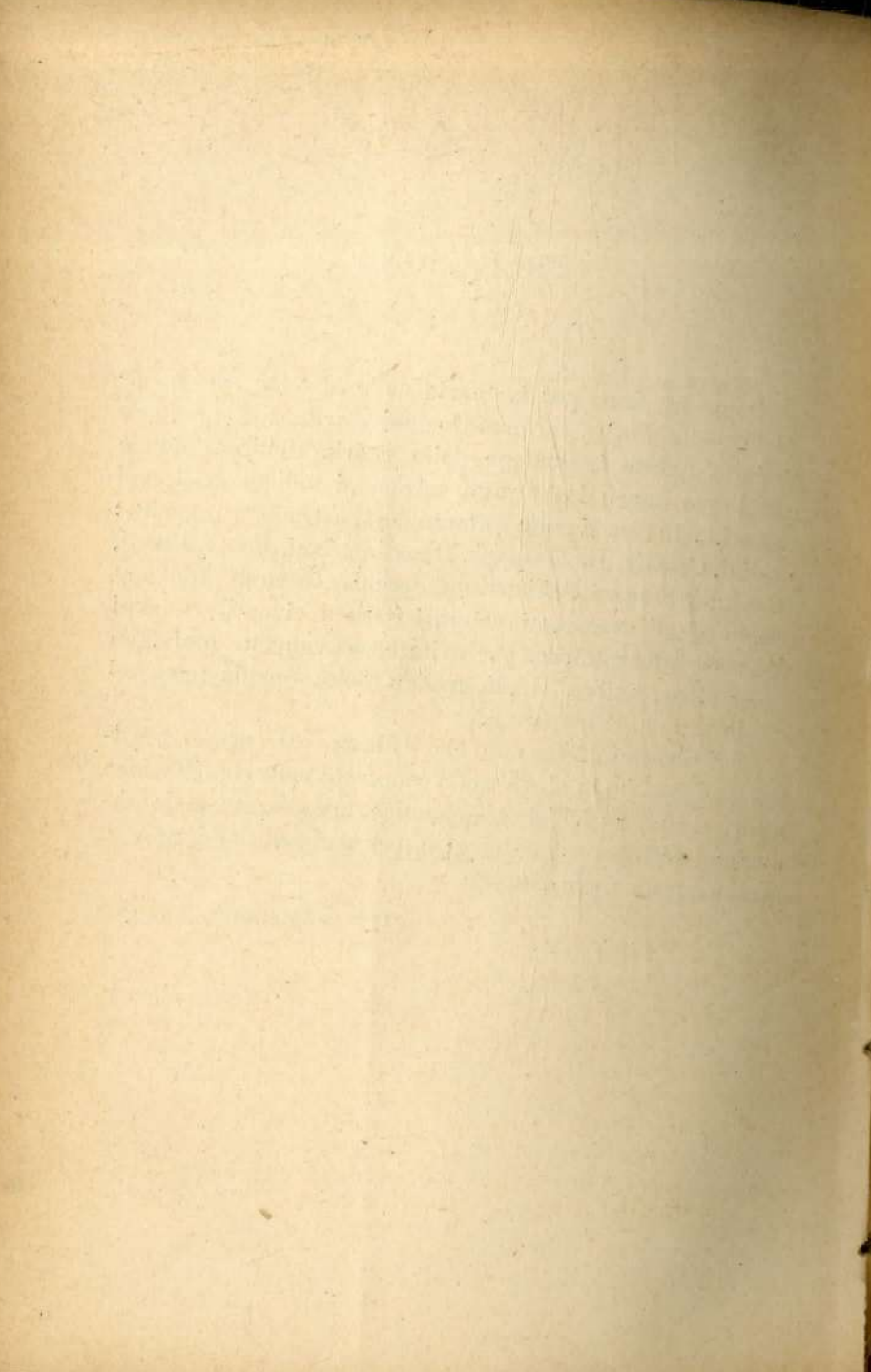
Spectrum Analysis, H. Schellen; *Spectrum Analysis*, H. E. Roscoe.

APPENDICE I.

SUGLI ASTRONOMI ITALIANI DEI TEMPI RECENTI.

PREFAZIONE

Come ho fatto per la Storia delle Matematiche e per quella della Fisica, ho creduto necessario di aggiungere anche a questa traduzione della Storia dell'Astronomia una breve appendice " sugli astronomi italiani dei tempi recenti. „ In essa si parla soltanto degli astronomi seguenti: Carlini, Cesaris, De Gasparis, Donati, Oriani, Plana, Piazzi, Respighi, Santini, Schiaparelli, Secchi e Tacchini. Del manipolo degli astronomi valorosi italiani viventi, come si vede, ricordo soltanto, per evitare sconvenienti omissioni e per altre ragioni, il più grande della seconda metà del secolo XIX, lo Schiaparelli.

Qui piacemi di far noto che l'illustre astronomo E. Millosevich non ha in alcun modo cooperato nella compilazione nè di questa, nè dell'altra appendice, ma soltanto nella traduzione dell'opera del Berry; e, per espresso suo desiderio, faccio questa dichiarazione.

D.r Dionisio Gambioli.

APPENDICE I.

Sugli astronomi italiani nei tempi recenti.

Per la compilazione di quest'appendice ci siamo serviti principalmente: 1° del *Compendio della Storia delle Matematiche,* Ball. — Gambioli — Puliti; 2° della V parte dell'opera del Rayet, *Observatoires d'Italie*, che fa parte dell'*Astronomie pratique* e *Les Observatoires en Europe et en Amérique, depuis le milieu du* XVII^e^ *siècle jusqu'à nos jours,* di C. André, G. Royet et A. Angot; 3° delle Note originali e Necrologie.

Piazzi (1). Giuseppe Piazzi nacque a Ponte in Valtellina il 16 luglio 1746 e morì a Napoli il 22 luglio 1826. Dotato di una costituzione fisica assai debole, fu subito destinato alla carriera ecclesiastica, e fece successivamente gli studî a Roma (1751), a Milano (1755), presso i reverendi Padri del Collegio di Brera, poi presso i Teatini, ove fece la sua professione religiosa nel 1865. Da qui si recò a Torino a studiare filosofia; ed ebbe la fortuna d'incontrarvi Beccaria, che gli incominciò a dare il gusto delle scienze esatte. Due anni dopo fu chiamato a Roma, ove studiò il calcolo infinitesimale sotto Jacquier e Le Sueur, che se lo associarono nelle ricerche astronomiche; ma non tardò l'invidia a volgere i suoi

---

(1) Vedi *Breve Compendio di storia delle Matematiche*, Rouse, BALL-GAMBIOLI-PULITI, vol. II, Appendice II, p. 198 — *L'Astronomie pratique et les Observatoires en Europe et en Amérique,* V^me^ Partie. - *Observatoires d'Italie*, par G. RAYET, Paris, 1878.

strali contro il Piazzi, il quale fu allontanato da Roma e poi obbligato ad insegnare filosofia a Genova (1769), poi a Malta (1772), infine a Ravenna (1773), ove rimase fino alla soppressione del Collegio.

Divenne allora predicatore a Cremona (1778) e ritornò infine a Roma l'anno seguente con il titolo di professore di teologia a Sant'Andrea; ma questa carica non la conservò per lungo tempo, poichè nel 1780 ottenne, per mezzo della protezione del Padre Jacquier, la cattedra di *calcolo sublime* all'Accademia di Palermo. Qualche anno dopo, essendo stata fondata a Palermo una scuola di marina ed una cattedra di Astronomia, il Piazzi fu designato a quest'ultimo posto ed incaricato di recarsi all'estero ad acquistare gli istrumenti per arredare il nuovo Osservatorio astronomico, che si sarebbe fondato, e che effettivamente fu fondato negli anni 1790 e 1791, del quale fu fatto direttore il Piazzi stesso.

Il 1° gennaio 1801 Piazzi scoprì il primo dei piccoli pianeti fra Marte e Giove, che fu chiamato Cerere Ferdinandea; questa scoperta gli fruttò non poche onorificenze, ed una pensione dal Governo.

La cura di osservare Cerere, la compilazione della sua Memoria su questo pianeta [Risultamenti della nuova stella (Palermo 1801), etc., della scoperta del nuovo pianeta Cerere Ferdinandea (Palermo, 1801)], l'incarico assuntosi di tracciare una grande meridiana nella cattedrale di Palermo, non distrassero il Piazzi dall'osservazione delle stelle del suo Catalogo. Con l'aiuto di N. Carioti e poi di N. Cacciatore, fece ad un tempo le osservazioni e le riduzioni, che furon condotte a termine nel 1802; e l'anno successivo pubblicò, in un magnifico volume in-folio, il suo primo Catalogo di 6748 stelle: *Praecipuarum stellarum inerrantium positiones mediae, ineunte saeculo* XIX, *ex observationibus habitis in specula Panormitana ab anno 1792 ad 1802* (Panormi, 1803). Questo lavoro fruttò al Piazzi nel 1803 la medaglia che Lalande aveva recentemente fondato per i lavori astronomici più utili.

Pei recenti progressi fatti dall'Astronomia nei metodi di osservazione e di calcolo, il Piazzi sentì il bisogno di calcolare di nuovo il Catalogo delle sue stelle fondamentali di

Palermo; onde il Piazzi osservò ogni giorno la declinazione del Sole e calcolò gli equinozi. Queste nuove ricerche, incominciate nel settembre 1803, furono continuate fino al 1806, e condussero alla pubblicazione di un nuovo Catalogo di 120 stelle e poi di un secondo Catalogo di 100 stelle fondamentali; i quali Cataloghi si trovano nel libro VI°, *Del reale Osservatorio di Palermo,* libri VI (Palermo, 1806). Condotto a termine questo lavoro preliminare, rimaneva da riprendere le riduzioni delle stelle del gran Catalogo: ciò fu il lavoro degli anni successivi; ed infine nel 1814 comparve la 2ª edizione del Catalogo di Palermo (*Praecipuarum stellarum positiones mediae, ineunte saeculo* XIX, *ex observationibus habitis in specula Panormitana ab anno 1792 ad 1814* (Panormi, 1814). Questa pubblicazione, frutto di ventidue anni di sforzi incessanti, gli valsero di nuovo il gran premio d'Astronomia dell'Istituto di Francia.

Questo non fu il solo risultato importante che il Piazzi trasse dalle sue osservazioni. Le determinazioni dei solstizi furono oggetto di una sua lunga Memoria sulla precessione degli equinozi (*Effemeridi di Milano pel 1904*), di una determinazione della obliquità dell'eclittica (*Atti della Società Italiana*, tomo XI) e di alcune altre Note meno importanti, ma ove si riscontra sempre la ricerca dell'esattezza, che caratterizzò così bene le produzioni scientifiche del Piazzi. Egli fu sempre di debole salute, e con l'età questa divenne sempre più cagionevole, tanto che più volte, nelle lettere da lui dirette all'Oriani, egli si lagna delle indisposizioni più o meno gravi, le quali gl'impedivano di lavorare; inoltre il Governo gli chiedeva dei lavori che a poco a poco lo distrassero dalle sue care osservazioni; invero nel 1814 fu incaricato d'introdurre nel Regno delle Due Sicilie il sistema metrico decimale, e nel 1817 gli s'impose l'incarico di dirigere la costruzione dell'Osservatorio di Capo di Monte in Napoli, ove incontrò non poche, nè lievi difficoltà. Fu in mezzo a questi lavori che la morte lo sorprese in Napoli, come si è detto, il 22 luglio 1826.

Nei brevi soggiorni, che egli fece dopo il 1817 in Sicilia, egli si occupava della pubblicazione delle sue lezioni di

Astronomia e delle ricerche sul moto proprio e sulla parallasse delle stelle, ecc.

Nei *Rendiconti del Reale Istituto Lombardo di scienze e lettere* pubblicò:

1° *Saggio sui movimenti propri delle fisse*. 1804, M. S. 1, cl. 1, vol. 1, I, pag. 1;

2° *Solstizii osservati e calcolati*, 1815, M. S. 2, vol. 2, II, pag. 229.

Cesaris (1). Il padre Angelo Cesaris nacque a Pusterlengo, terra di Lodi, il 30 ottobre 1749; egli fece una parte dei suoi studi presso i gesuiti del Collegio di Brera, ove ebbe a maestri Lagrange e Boscovich, che gl'inspirarono il gusto all'Astronomia e lo fecero entrare nell'Osservatorio astronomico di Brera nel 1773, quando si stava riformando questa specola. Egli fu il maestro, il confidente, l'amico devoto dell'Oriani.

Morì in Milano il 18 aprile 1832; ma era già da qualche anno che, essendogli venute meno per l'età le forze, aveva quasi del tutto abbandonate le osservazioni.

Appena entrato nella Specola, il Cesaris incominciò da solo la pubblicazione delle *Effemeridi di Milano*, lavoro che doveva continuare, quasi senza aiuto, per ben venticinque anni, passando tutte le sue giornate a calcolare le posizioni del Sole, con la scorta delle Tavole di Lalande; quelle della Luna, mediante gli elementi di Mayer; le eclissi dei satelliti di Giove, mediante le tavole di Wargentin (2). Questo lavoro rarissimo, in cui si dovevano continuamente eseguire gli stessi calcoli, nei quali si potevano spessissimo commettere errori, non fece tuttavia perdere di vista al Cesaris che il dovere fondamentale di un astronomo è di contribuire, con le incessanti osservazioni, al progresso dell'Astronomia. Quindi, lo si

---

(1) Vedi Rayet, opera citata, pag. 33.

(2) Le *Effemeridi di Milano* sono state regolarmente pubblicate dal 1775 al 1875; esse formano una collezione di ben 100 volumi. I volumi dal 1775 al 1803 sono stati calcolati dal Cesaris, quelli dal 1803 al 1863 dal Carlini; quelli dal 1863 al 1875 per cura dello Schiaparelli.

vede fin da principio aggiungere ai suoi lavori di calcolo la cura di osservare le posizioni del Sole e dei pianeti in opposizione, dapprima al sestante di Canivet, in seguito al quadrante murale di Ramesden, del quale egli aveva particolarmente studiato la divisione [*De quadranti murali, quem speculae mediolanensi construxit*]. *J. Ramesden, Commentarius* ANGELI DE CESARIS (*Effemeridi di Milano*,1792); e del quale continuò sempre a servirsi con una particolar predilezione; poichè, mentre i suoi colleghi impiegavano i nuovi apparecchi, come il circolo ripetitore di Reichenbach, egli osservava sempre al quadrante i pianeti, il Sole, le comete più importanti. I lavori principali del Cesaris, dapprima, riguardarono lo studio degli strumenti e dei movimenti, a cui potevano essere soggetti come conseguenza del modo, col quale sono stati installati; per questo, ad esempio, le *Effemeridi di Milano* del 1813 e del 1816 contengono due dotte dissertazioni del Cesaris sul movimento oscillatorio che subisce, durante una giornata e sotto l'azione diseguale dei raggi solari, un edifizio elevato come l'Osservatorio di Brera. Ora questo fenomeno è ben noto, e tutti gli astronomi successivamente l'hanno constatato; ma non bisogna punto dimenticare che il Cesaris fu il primo a segnalarlo.

In un altro ordine di idee dobbiamo al Cesaris la costruzione (1787) della meridiana del Duomo di Milano, il più esatto degli strumenti di questo genere, che siano mai stati edificati.

Elenco dei lavori pubblicati dal Cesaris nei *Rendiconti del Reale Istituto Lombardo di scienze e lettere:*

1. *Sopra il movimento oscillatorio delle fabbriche,* 1812-15. Ms. 7, 2, vol. 1, I, pag. 18; vol. 2, I, pag. 19.

2. *Riflessioni sugli orologi astronomici,* 1813. Ms. 2, vol. 1, I, pag. 32.

3. *Sopra i principî ai quali si appoggia la costruzione de' cannocchiali galileiani, astronomici e terrestri,* 1814. Ms. 1, 2, vol. 2, I, pag. 13.

4. *Esame di una macchina presentata dall'ottico Consonni, atta a misurare la forza rifrattiva dei corpi diafani,* 1815, V. Ivi, pag. 21.

5. *Sui climi in generale, ed in particolare sul clima di Milano,* 1816. Ms. 2, vol. 3, I, pag. 9.

6. *Estratto delle osservazioni meteorologiche,* 1818. Ms. 2, vol. 4, I, pag. 5.

7. *Sui vetri periscopici del Wollaston,* 1819. Ivi, pag. 6.

8. *Esperienze con la macchina del Christian,* 1819. Ivi, pag. 6.

9. *Sulla inutilità della ricerca della quadratura del circolo.* Ivi, pag. 7.

10. *Sulle osservazioni astronomiche degli antichi Egiziani,* 1824. Ivi, pag. 819.

11. *Esame di una nuova lega metallica,* 1825. Ivi, pag 9.

B. Oriani (1). Barnaba Oriani nacque da poveri genitori in Garegnano presso la Certosa (Pavia) il 17 luglio 1752 e morì in Milano il 12 novembre 1832. Que' frati certosini lo fecero educare; e dopo aver studiato sotto i Barnabiti di Sant'Alessandro in Milano, abbracciò la carriera ecclesiastica e si dedicò con ardore allo studio delle Matematiche; entrò come astronomo aggiunto nella Specola di Brera (1776). Quivi Reggio e Cesaris gli affidarono numerosi calcoli numerici, necessari per la pubblicazione delle *Effemeridi;* al qual lavoro l'Oriani si dedicò con vero intelletto d'amore, da acquistarsi la stima e la benevolenza dei suoi capi. Due anni dopo (1778) fu nominato astronomo, posizione che lo rese economicamente indipendente, e così potè dedicarsi a lavori originali.

Per incarico di Giuseppe II, egli visitò i principali Osservatorî di Europa. Partì da Milano il 12 maggio 1786 e visitò successivamente: la Svizzera, la Germania, il Belgio, l'Olanda, l'Inghilterra, ove conobbe Muskelyne, Herschel, Ramsden; e Dollond la Francia, ove contrasse amicizia con Laplace, Lalande e Méchain.

Nel 15 maggio 1796 Bonaparte entrò in Milano; l'Oriani, immerso nei suoi studi, seppe, in mezzo a circostanze poli-

(1) Vedi, come pel Piazzi, loc. cit., p. 200, nella *Storia delle Matematiche*, e p. 25 nell'opera di Rayet.

tiche difficili, condursi con fermezza di carattere e mostrò una grande abilità politica. Al Bonaparte, che voleva che egli giurasse odio contro i passati Governi, rispose una nobilissima e sdegnosa lettera di rifiuto, a causa della quale perdè il posto. Rimesso al posto, approfittando della stima e dell'amicizia che godeva presso il Generale repubblicano, dietro la raccomandazione di Lalande e Carnot, potè proteggere i suoi colleghi del Collegio di Brera, che erano stati minacciati della espulsione, perchè avevano rifiutato di giurare fedeltà al nuovo Governo, ed impedì la soppressione delle Università di Pavia e Bologna. Fu l'Oriani pure che attirò a Milano Antonio Cagnoli (nato a Zante il 1743 e morto a Verona il 1816), il cui Osservatorio privato di Verona era stato distrutto durante l'assedio di questa città; e gli fornì i mezzi per dar l'ultima mano al suo celebre Catalogo di 500 stelle (*Memorie della Società italiana dei XL di Modena*, tomo X, 1802) (1).

L'Oriani lasciò all'Osservatorio di Brera duecentomila lire austriache, le quali contribuirono molto all'incremento di esso; ed assegnò cinquantamila lire di premio all'astronomo Plana di Torino pei suoi lavori.

Nel 1778 l'Oriani incominciò una serie di osservazioni delle macchie solari, le quali avevano per iscopo una nuova determinazione della posizione della linea dei poli di quest'astro.

Mentre il Reggio si occupava a perfezionare la teoria del Sole, Oriani, più matematico, intraprendeva delle ricerche sul movimento dei pianeti ed in particolare su Urano, che era stato uno dei primi ad osservare e che per alcuni mesi lo ritenne, come Maskelyne, per una cometa. Una prima Memoria, pubblicata nelle *Effemeridi* del 1785, ha per oggetto

(1) Il CAGNOLI pubblicò nei *Rendiconti dell'Istitutò lombardo di scienze e lettere:* a) *Problemi sull'equazione dell'orbita* e sulla *Eccentricità dei pianeti* (1805). Ms. 2, vol. 1, II, p. 2-3; b) *Metodo per trovare e correggere gli elementi dell' orbita di un pianeta*, 1812. Ms. 2, vol. 1, II, p. 30.

il calcolo delle *Tavole* del suo movimento. Nel 1787 egli paragonò le posizioni osservate con le posizioni calcolate, e nel 1789, infine, cercò di rendere ancora più esatte le sue *Tavole*. Negli anni seguenti (1790 e 1793) Oriani precisò ancora i suoi lavori, applicando ad Urano il metodo, che allora aveva servito a Laplace per calcolare le perturbazioni prodotte da Giove nel moto di Saturno; mostrò quali sono i cambiamenti che Saturno deve produrre nelle posizioni di Urano, ed ottenne di mettere d'accordo le osservazioni moderne di questo pianeta con quelle di Flamsteed del 1670 e quelle di Mayer del 1756. Come riepilogo di questo ammasso considerevole di ricerche (1), le *Effemeridi* del 1793 contengono una *Tavola*, che serve a calcolare le posizioni successive del pianeta.

Le relazioni, che egli aveva col Primo Console e col Vicerè d'Italia, gli servirono talvolta per essere intermediario fra questi ed i dotti italiani e per mettere l'Amministrazione del Governo d'Italia in relazione con quella della Francia; e perciò, ad esempio, quando fu stabilito d'introdurre nella Repubblica Cisalpina il sistema metrico decimale, egli fu incaricato nel 1798 di prepararne la riforma.

La posizione scientifica e morale di Oriani, ed anche la influenza che le relazioni già dette gli avevano fatto acquistare, lo designavano evidentemente come direttore dell'Osservatorio astronomico di Brera quando morì Reggio. Ottenuto questo importante posto, l'Oriani continuò tuttavia le osservazioni dei pianeti, che aveva incominciato da principio; ma la parte più importante del suo lavoro consiste nei suoi lavori di Matematica. Dal 1806 al 1810 pubblicò, nei Rendiconti dell'Istituto Lombardo-Veneto di scienze, lettere ed arti, la sua *Trigonometria sferoidica,* nella quale egli tratta in un modo generale il problema, che Cléraut ed Eulero avevano risolto solo in un modo particolare: trovare tutte le relazioni possibili fra i sei elementi di un triangolo sferico. Più

---

(1) *De variationibus saecularis et periodicis novi planetae Urani a viribus perturbatricis aliorum planetarum pendentibus*, ex B. Oriani (*Effemeridi astronomiche di Milano*, 1790-1791-1792 e 1793).

tardi, in seguito ai lavori geodetici intrapresi sotto la sua direzione nel settentrione dell'Italia, applicò le formule precedenti alla risoluzione rigorosa di parecchi problemi di geodesia.

Oriani non cessò altresì di osservare: ed ogni anno le *Effemeridi di Milano* registravano le sue osservazioni ed i suoi calcoli sui nuovi pianeti compresi fra Marte e Giove e sul Sole, di cui egli determinava assiduamente le distanze zenitali, con l'intendimento di determinare il valore della obliquità della eclittica; questo lavoro importante fu intrapreso dall'Oriani nel 1810. Tra il 1810 ed il 1812 l'Oriani, insieme ai suoi allievi Carlini e Brioschi, osservò 32 circompolari; mediante queste osservazioni egli ottenne la latitudine della specola di Brera in 15° 28′ 0″.70, con un errore appena di 0″.5. *(Effemeridi di Milano per il 1815)*. Per questo lavoro l'Oriani dovè rigettare le Tavole di Mayer, di Bessel e di Laplace, e si servì invece di quelle del Carlini, pubblicate nel 1808; l'accordo fra le due serie di osservazioni allora divenne sufficiente. *(Effemeridi di Milano per il 1816)*; l'Oriani ritornò ancora su questo soggetto nel 1821, nel 1826 e nel 1830. Quest' ultima Memoria era stata preceduta dalla pubblicazione nel 1827 delle operazioni geodetiche fatte nel 1809 e nel 1810 per la verificazione dell'arco di meridiano da Roma a Rimini, e nel 1821 per la misura dell'arco di meridiano compreso fra Milano e Genova e la triangolazione della Lombardia.

Le ricerche di Oriani gli valsero fama europea ed onori. Napoleone I lo nominò conte, senatore del Regno d'Italia, e voleva (1805) nominarlo vescovo di Vigevano con una rendita netta di 42,000 lire, carica che egli, ad onta delle preghiere degli amici, recisamente rifiutò; accettò solo una pensione di 8000 lire.

Elenco dei lavori pubblicati dall'Oriani nei *Rendiconti del Reale Istituto Lombardo di scienze e lettere:*

1. *Elementi di Trigonometria sferoidica*. 1804-06-29. M. s. 1, cl. 1, vol. 1, I, pag. 138; vol. 2, I, pag. 1; vol. 2, II, pag. 1; s. 2, vol. 4, II, pag. 325.

2. *Dimostrazione delle formule date dal Lagrange nella sua « Memoria sull'origine dei pianeti e delle comete »*. 1812. M. s. 2, vol. 1, I, pag. 17.

3. *Sulla cometa scoperta a Viviers nel 25 marzo 1811*. Ivi, pag. 26.

4. *Osservazioni solstiziali fatte con un circolo moltiplicatore di tre piedi di diametro*. 1814. M. s. 2, vol. 2, I, pag. 13.

5. *Storia dei progressi dell'Astronomia in Italia dopo il principio di questo secolo* (XIX). 1816. M. s. 2, vol. 3, I, pag. 8.

6. *Esame dell'opera sulla Meccanica analitica di Lagrange, presentata dal sig.* GABRIO PIOLA, 1824. M. s. 2, vol. 4, I, pag. 9.

7. *Estratto di un opuscolo geodetico del capitano Della Casa*. 1825. Ivi, pag. 9.

8. *Giudizio pei manoscritti dei corsi di Geometria presentati al concorso*. Ivi pag. 10.

Plana (1). Giovanni Antonio Amedeo barone Plana nacque a Voghera l' 8 novembre 1781 e morì a Torino il 20 gennaio 1864. Nel 1800 entrò nella Scuola Politecnica, ed appena uscitone, fu nominato professore alla scuola di artiglieria di Alessandria (23 maggio 1803). Nel 1809 presentò all'Accademia di Torino la sua prima Memoria *Equazione della curva formata da una lamiera elastica*. Nel 1811, dietro le raccomandazioni di Lagrange, fu nominato professore di Astronomia nell' Università di Torino, e fu incaricato della direzione dell' Osservatorio astronomico (5 marzo 1813), che egli fece molto progredire.

Insieme al Carlini il Plana prese parte attiva ai lavori geodetici, che si facevano nel settentrione d' Italia in quell'epoca (1821). Compiuti questi importanti lavori geodetici, il Plana tornò al suo Osservatorio, ove incominciò una serie di osservazioni astronomiche, che continuò fino alla sua morte. Sua prima cura fu quella di determinare, mediante osservazioni della Polare, la latitudine del suo Osservatorio, che fu di 45°, 48″, 36 ; e determinò la sua longitudine rispetto a Milano in $0^h\ 5^m\ 58^s$, 85 ; inoltre osservò alcuni passaggi meridioni di stelle fondamentali. Questa prima serie di osservazioni è stata

(1) Vedi, come pel PIAZZI, l. c. a pag. 252, nella *Storia delle Matematiche*, ed a pag. 4 nell'opera del RAYET.

pubblicata a Torino nel 1828 col titolo: *Osservazioni astronomiche fatte nel 1822, 1823, 1824 e 1825 nell' Osservatorio reale di Torino.* Il volume è preceduto da un'importantissima Memoria sulle rifrazioni astronomiche, ove Plana mostrò il suo brillante ingegno d'analista, il quale doveva formare la sua gloria. In quest'epoca (1816), come si dirà parlando del Carlini, il Plana incominciò con questo astronomo un lavoro, che durò per molti anni e lo tenne lontano dall'Astronomia pratica, quello cioè sul moto della Luna. Egli riprese le ricerche di Eulero e di Laplace e portò la determinazione teorica delle ineguaglianze lunari molto più in là di quello che non era stato fin allora fatto; poi, non conservando che la forma delle ineguaglianze, a cui l'aveva condotto il calcolo, il Plana determinò i coefficienti di diversi termini, in modo da soddisfare alle osservazioni. La Memoria *Teoria del moto della Luna* dei due astronomi italiani ottenne nel 1820 il premio Lalande; ma essa non fu pubblicata che nel 1832 in tre grossi volumi; alla quale Plana fece un gran numero di aggiunte.

Il Plana fece altresì continuare le osservazioni astronomiche correnti, ma trascurò di pubblicarle; e infatti nella serie delle *Memorie dell'Accademia di Torino* non si trova punto sotto il suo nome, a partire dal 1828, che le osservazioni di alcuni fenomeni accidentali: l'eclisse di sole del 15 marzo 1858, l'eclisse di sole del 18 giugno 1860, l'osservazione del passaggio di Mercurio del 12 novembre 1861. Negli ultimi anni di sua vita Plana tenne ancora lontani dall' Osservatorio i suoi allievi favoriti, e non li lasciava fare le osservazioni che con grande difficoltà.

Nel 1811 pubblicò una Memoria *Sulla teoria dell'attrazione degli elissoidi;* inoltre studiò la distribuzione della elettricità statica nei conduttori, la teoria della elasticità, ecc.

Come si è detto, parlando dell' Oriani, questi lasciò in premio al Plana, per i suoi lavori, la bella somma di 50 mila franchi; a questo riguardo il passo del testamento dell' Oriani « Lascio per una sola volta al signor cav. Giov. Plana, dice, cinquanta mila franchi, equivalenti a lire austriache cinquantasettemila quattrocento settanta, in attestato per le sue opere già pubblicate, che lo qualificano per uno dei più valenti ma-

tematici ora viventi; se egli morisse prima di me, i cinquanta mila franchi saranno dati ai suoi figli ed eredi.

« Milano, Palazzo di Brera, li 30 maggio 1832 ».

È superfluo dire che il Plana fu socio delle principali Accademie e Società scientifiche nostrane e straniere e fu insignito di parecchi Ordini cavallereschi.

Carlini (1). Francesco Carlini nacque in Milano il 7 gennaio 1783; dal padre ebbe i primi rudimenti della lingua latina; poi frequentò il ginnasio di Brera; e nella sua prima giovinezza attese a vari studî di lettere, di matematica e di architettura; ben presto si sviluppò in lui quella tendenza preponderante allo studio dell'Astronomia, allorchè fu ammesso nell'allora fiorente Osservatorio astronomico di Brera, celebre principalmente per opera dell' Oriani, del Reggio e del Cesaris, a far calcoli, prima elementari, poi più elevati; e tanto si segnalò in essi, che nel 1799 venne ammesso come allievo presso la specola, e poco dopo chiamato a far parte della Commissione dei pesi e misure per il Regno d' Italia. Nel 1803 conseguì il diploma di matematica presso l' Università di Pavia; nel 1804 fu promosso al grado di astronomo sopranumerario, e dopo la morte di Cesaris, nel 1832, direttore dell' Osservatorio di Brera. Sin dal 1812 fu membro dell' Istituto Nazionale Italiano, del quale, mutato in Istituto Lombardo-Veneto, e poi in Istituto Lombardo, fu per lungo tempo presidente. Fu socio di quasi tutti i corpi scientifici italiani e stranieri. Morì a Crodo, nell' Ossola, il 29 agosto 1862. Imitando il generoso esempio dell' Oriani, legò all' Osservatorio astronomico di Brera, ove visse la maggior parte dei suoi anni, una penna destinata a scopo scientifico, e fece ad esso dono di tutti i suoi manoscritti; all' Istituto Lombardo legò la sua copiosa collezione di libri scientifici.

---

(1) Vedi *Notizie sulla vita e sugli studî di Francesco Carlini*, raccolte da G. V. Schiaparelli, lette nella tornata del 18 dicembre 1862. *Atti del Reale Istituto Lombardo di scienze, lettere ed arti*, vol. III, fasc. XI-XIV, pag. 281.

Sarebbe cosa ardua di far qui un'analisi completa di tutti i lavori del Carlini, ciò che ci porterebbe troppo in lungo; noi discorreremo brevemente soltanto dei principali. Un elenco quasi compiuto delle opere del Carlini si trova come appendice in fine del discorso sopra citato dello Schiaparelli.

Avendo scoperto il Carlini molti e non lievi errori nelle tavole solari del Delambre, tosto ne calcolò delle nuove, pubblicandole nel 1810 sotto il titolo: *Tavole del Sole per il Meridiano di Milano, secondo gli elementi del celebre signor Delambre,* Milano 1810, e concordandole con una *Esposizione di un nuovo metodo di costruire le tavole astronomiche.*

Si sa che la determinazione *a priori* dei movimenti della Luna, dietro i puri principî della gravitazione, è il problema più difficile dell'Astronomia teorica; a ragione adunqne Laplace, dolente di vedere, anche dopo la pubblicazione della *Meccanica celeste,* il calcolo dei luoghi lunari farsi sopra basi semi-empiriche, propose all'Accademia delle scienze di Parigi come soggetto di premio del 1820, la formazione, per mezzo della sola teoria, di tavole lunari altrettanto esatte, quanto quelle che fino allora si erano costrutte col concorso della teoria e delle osservazioni. Fino dal 1813 Plana e Carlini avevano formato una società per elaborare una completa teoria della Luna, e per sottoporre alle leggi della geometria tutte le grandi e le piccole aberrazioni di questo satellite; e già erano molto avanzati in questo lavoro, quando il programma dell'Accademia di Parigi li determinò a presentare al concorso i risultati già ottenuti. Essi meritarono il premio proposto, che fu diviso con un altro lavoro analogo del Damoiseau, dietro i giudizii pronunciati dalla Commissione composta di Laplace, Burckhaw e Poisson.

Nello stesso anno 1820, Plana e Carlini insieme, pubblicarono una Memoria con l'intendimento di giustificare la loro teoria da alcune obiezioni contro la medesima sollevate da Laplace (ZACH, *Correspondance Astronomique,* tom. IV), ed un'altra sopra l'equazione lunare, avente per argomento il doppio della differenza tra la longitudine del nodo e quella del perigeo (ZACH, *Correspondance Astronomique,* tom. V).

Carlini poi compilò da solo le *Tavole lunari,* costruendole

secondo il principio, che così felicemente aveva servito a quelle solari; ed esse furono la base fino allora del compiuto lavoro delle *Effemeridi di Milano.*

Inoltre Carlini aveva progettato una teoria completa della Luna, ed a tal uopo incominciò a pubblicare l'*Algoritmo del calcolo delle perturbazioni lunari,* di cui il primo capitolo, il solo che sia venuto in luce, si legge nel tomo V delle *Memorie dell' Istituto Lombardo-Veneto* (1838).

Intorno alla teoria del movimento ellittico abbiamo di Carlini le *Ricerche sopra la convergenza della serie, che serve a risolvere il problema di Keplero,* lavoro assai profondo, in cui da un errore di calcolo Carlini fu condotto falsamente a concludere, che la serie che serve al calcolo dell'anomalia eccentrica si faccia divergente, quando l'eccentricità oltrepassa un dato limite. Egli inventò una macchinetta per risolvere il problema di Keplero per approssimazione (*Memoria dell' Istituto Lombardo,* tomo V, pag. 93).

Carlini ricercò ed osservò le comete con zelo, e calcolò le orbite di parecchie di esse, apportando utili perfezionamenti al metodo di Olbers; si occupò anche di speculazioni cosmologiche.

All'Astronomia pratica Carlini procurò molti sussidii, specialmente per quella parte che riguarda il calcolo e la riduzione delle osservezioni, come ne fanno fede le *Tavole per la riduzione delle altezze circummeridiane* (1809); le *Tavole per calcolare il coefficiente del quadrato del tempo nella precessione delle stelle* (1819); le *Tavole pel calcolo delle altezze barometriche* (1824); *il calcolo delle coordinate ortogonali del Sole rispetto all'eclittica ed all'equatore* (1833), ecc.

La parte meccanica dell'Astronomia pratica deve pure a Carlini alcuni pregevoli lavori; infatti ricercò le irregolarità dei livelli a bolla d'aria (*Effemeridi di Astronomia* di Milano, anno 1827); discusse l'equazione personale che ha luogo nelle osservazioni dei passaggi, additando per essa una causa ottica, molto differente dalla causa fisiologica generalmente ammessa (*Ibid.,* anno 1855); immaginò e diresse la costruzione di due barometri normali, ecc.

Carlini fu anche un buon analista; oltre alla già citata ricerca sulla convergenza della serie che serve a risolvere il problema di Keplero, pubblicò una Memoria *sulle trascendenti della forma* X^{x^n} (*Memorie dell'Istituto Lombardo-Veneto*, tomo I; una *sulle proprietà delle funzioni coniugate* (*Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaften*, 1854, juli), ed un'altra sul *Calcolo delle quantità periodiche*, la quale doveva servire di introduzione all'Agoritmo delle perturbazioni lunari (*Memorie dell' Istituto Lombardo-Veneto*, tomo V).

L'amore dei veri scientifici, il quale sostenne Keplero nei suoi domestici infortunii ed animò Galileo nelle carceri del Sant'Ufizio, senza di cui si potranno avere mediocri osservatori e computisti, non mai dei grandi astronomi, sorresse l'ottuagenario Carlini a salire sulle vette delle torri di Brera a compiere i suoi doveri.

Carlini si dedicò pure agli studii ed alle operazioni geodetiche. Poco dopo il 1811 si intraprese in Francia la misura di una catena perpendicolare alla meridiana di Parigi, che dovevasi estendere da Bordeaux fino alla frontiera occidentale della Savoia; la parte astronomica delle operazioni necessarie per la misura del tratto fra Torino e la frontiera francese fu affidata (1823) a Plana e Carlini.

Carlini poi, da solo, determinò la longitudine di parecchi luoghi dell' Italia settentrionale, ecc.

Il Carlini non contento di quanto aveva operato per la geografia matematica dell' Italia superiore, meditava nei suoi ultimi anni altri lavori necessari a compiere e perfezionare quanto era già stato fatto; ed invero, nel 1841 lesse all' Istituto una Memoria, degna di ogni studio, *sopra ciò che manca ancora ad una compiuta descrizione geografica della Lombardia*; nel 1842 fece il calcolo della meridiana fra Genova e Zurigo; con l'ausilio dei suoi assistenti nel 1844 diresse le opere trigonometriche, che servirono di base alla topografia della città di Milano; e pochi giorni prima della sua morte corresse le stampe del suo ultimo lavoro: *Ricordi degli studî topografici eseguiti in Lombardia.*

Carlini si occupò anche di Meteorologia, migliorando gli

istrumenti e le osservazioni che si facevano allora alla specola di Brera. Nel 1828 pubblicò, nel vol. XX delle Memorie della Società Italiana delle scienze un lavoro *sulle variazioni orarie del barometro*. Il Carlini in Meteorologia era in Italia una delle prime autorità; cooperò a stabilire le basi della Società Meteorologica Lombarda, ecc.

Il prof. Nervander di Helsingfors (*Bulletin de la classe physica-mathématique de l'Académie des sciences de S. Pétersbourg*, tomo III) dalle osservazioni termometriche di Parigi e di Innsbruck era venuto a concludere una rotazione sinodica del Sole quasi identica a quella che altri osservatori avevano tratto da osservazioni di macchie. Carlini, discutendo le osservazioni fatte a Milano nei decenni 1765-1775 e 1838-1845, trovò confermarsi il risultato di Nervander, mostrando così come con la Meteorologia, scienza ancora incertissima, possano talora dedursi risultati di eguale o di superiore precisione di quelli che forniscono le osservazioni astronomiche.

Alcuni, erroneamente, hanno l'opinione che gli studî severi delle scienze fisiche e matematiche inaridiscano lo spirito e rendano l'immaginazione infeconda ed inabile a correre l'arringo letterario. Carlini diede ancora una volta l'esempio di quanto sia falsa tale opinione. Le invenzioni in Matematica richiedono anzi che al severo raziocinio si accoppii una fervida fantasia. La natura poi, con la varietà e con l'immensità dei suoi spettacoli, vince i voli della immaginazione più audace. La contemplazione di Iride arcana ed infinita può essere al genio estetico miglior fonte d'ispirazioni, che non le troppo abusate immagini del classico Olimpo, a quell'idealismo vago e privo di tangibili forme, a cui sono tanto inclinati i figli del Nord. Non si potrà certamente asserire che siano stati privi d'immaginazione Cartesio e Leibnitz, grandissimi fra i matematici; si sa pure che Newton si riposava dalle sue memorabili meditazioni costruendo un sistema di cronologia, e commentando Daniele profeta. Ed il nome di Tommaso Young, dello scopritore delle interferenze, non segna egli una gloriosa pagina nella storia della ermeneutica egizia? Galileo fu poeta, e Mascheroni eccellente poeta. E così pure Carlini, non senza successo, si applicò a lavori letterari, sia

scrivendo biografie di uomini illustri, fra cui è pubblicata quella di Antonio Cagnoli (1), ed inedita quella di Lorenzo Mascheroni. Egli fu uno dei redattori per ben 15 anni (dal 1826 al 1840) di quella eccellente opera periodica, che, sotto il nome di *Biblioteca italiana,* tanto contribuì alla diffusione del sapere. Si era dedicato anche a studi filologici, avendo conosciuto ben cinque lingue viventi.

Chi desiderasse l'elenco dei lavori pubblicati dal Carlini nei *Rendiconti del Reale Istituto Lombardo di scienze e lettere,* veda l'Indice generale dei lavori dalla fondazione all'anno 1888 di detto Istituto. Hoepli, Milano, 1891, pag. 40-41-42.

Santini (2) — Giovanni Sante Gaspare Santini nacque in un luogo detto *Lama,* al piè del colle di *Caprese,* in riva alla Singerna su quello di *Arezzo* il 29 gennaio 1787; morì a Noventa Padovana, terra presso Padova, il 26 giugno 1877. Lo zio prete si prese cura dell'istruzione elementare del nipote; a Scorano, presso Anghiari, ebbe i primi rudimenti del latino, della grammatica, della retorica, delle matematiche e della filosofia. Nel 1801 fu dallo zio inviato al Seminario di Prato per compiervi la sua educazione filosofica; fu qui che il Santini prese amore alle Matematiche e dove studiò greco sotto il Sacchi. L'anno successivo passò a studiare all'Università di Pisa, ove era rettore Lorenzo Pignotti, di Figline, il quale fu assai utile per l'avvenire scientifico del Santini. Si era inscritto ai corsi legali, che frequentava ben poco, seguendo invece con assiduità ed interessamento i *corsi liberi* di Matematica del *Paoli* e di Fisica del *Pacchiani.* Nel 1805 passò per alcun tempo all'Osservatorio di Brera a Milano; nel 1806 fu nominato astronomo aggiunto all'Osser-

(1) Vedi *Notizie sulla vita e sugli studî di Antonio Cagnoli* — *Memorie della Società Italiana delle scienze*, residente in Modena, tomo XVIII.

(2) Vedi *Intorno alla vita ed ai lavori di Giovanni Santini,* Memoria d'Elia Millosevich (*Bullettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze matematiche e fisiche* di B. Boncompagni, tomo XI, pag. 1-110, Roma 1878).

vatorio astronomico di Padova. Nel 1808 il Santini ebbe l'incarico della supplenza della cattedra di Astronomia e nel 1813 ne fu nominato ordinario. Nel 1817 venne nominato professore di Astronomia teorico-pratica e direttore dell'Osservatorio presso l'Università di Padova. Nel 1853 lasciò l'insegnamento e conservò solo la direzione dell'Osservatorio; ma nel 1863, per la morte del Trettenero, riprese l'insegnamento dell'Astronomia, che continuò fino al 1867, nel quale anno fu sollevato un'altra volta dall'obbligo delle pubbliche lezioni, pur continuando negli uffici di professore di Astronomia e direttore dell'Osservatorio; dal 1867 lo supplì l'attuale direttore professore Giuseppe Lorenzoni. A più riprese il Santini insegnò anche elementi di Algebra e Geometria, l'introduzione al calcolo sublime ed il calcolo sublime stesso, ecc. Fu più volte rettore dell'Università e per ben ventisette anni direttore della Facoltà matematica. Nel 1862 fu nominato dal Governo italiano membro della Commissione per il riordinamento dei nostri Osservatorî astronomici. Appartenne a quasi tutti i Corpi accademici ed Istituti scientifici nostrani e stranieri e fu insignito di molti Ordini cavallereschi. Fu riconoscentissimo ai suoi benefattori; amò la gioventù di un affetto paterno, pronto sempre a dar consiglio ed infondere coraggio; leale, modesto e di modi concilianti; fu schiettamente liberale; non prese parte attiva all'epopea nazionale, chè i suoi studî lo tenevano altrove occupato; ma non piegò mai il capo alla volontà dello straniero; salutò con entusiasmo l'annessione delle provincie Venete al Governo del Re, ed amò sinceramente l'Italia, di cui egli fu onorando campione. — In un compendio di storia dell'Astronomia, come questo, non è possibile parlare di tutte le numerosissime opere del Santini: ci accontenteremo di discorrere brevemente delle principali. Appena il Santini entrò nell'Osservatorio astronomico patavino, si adoprò ad aumentarne il materiale scientifico; infatti fino dal 1810 ottenne lo strumento dei passaggi di Reichenbach ed Utzschneider; nel 1815 il Circolo ripetitore di Reichenbach; nel 1823 l'equatoriale di Utzchneider di Monaco ed un cannocchiale acromatico di Fraunhofer; nel 1836 il superbo circolo meridiano di Starke; nel 1850 l'altro equa-

toriale pure di Starke, ecc. Ad onta di ciò, la produzione scientifica del Santini è superiore al materiale, di cui egli disponeva; e con l'ausilio di dotti aggiunti ed assistenti potè far credere all'Europa che egli era alla direzione di un Osservatorio di altissimi mezzi, merito capitale della carriera scientifica del Santini; egli acquistò fama veramente europea.

Il Santini osservò e studiò i pianeti tra Marte e Giove, facendone oggetto di comunicazione all'Istituto Veneto.

Il Santini non si occupò mai in modo speciale della teoria di alcuni dei grandi pianeti, come aveva fatto il Carlini; ma nella sua lunga carriera scientifica il Santini fece sui pianeti molte osservazioni e non pochi calcoli.

Il lavoro più importante del Santini sui pianeti maggiori è uno scritto sulla massa di Giove, presentato alla Società Italiana delle Scienze, residente a Modena. (*Memorie di matematica e di fisica della Società Italiana delle Scienze*, ecc., tomo XXI, 1836, pag. 322-373), che egli presentò il 23 agosto 1835.

Il Santini si occupò molte volte delle eclissi ed occultazioni, su cui fece parecchie Memorie.

Inoltre fece oggetto dei suoi studî delle determinazioni di latitudine, longitudine e di altri lavori di geodesia, pubblicando importanti Memorie, tra cui una intitolata: *Ricerche sulla latitudine dell'Osservatorio di Padova* (*Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana*, ecc., tomo XVI, Parte I, 1813); di altri lavori di altimetria di poca importanza, e di tre lavori di geodesia, che pubblicò nei Rendiconti dell'Accademia di Padova e nelle Memorie dell'Istituto Veneto.

Di tutte le parti dell' Astronomia, quella nella quale il Santini dà prova di un' attività veramente ammirabile e di una rapidità sorprendente nel maneggio del calcolo, è la *Cometografia*. Tuttavia è strano che il Santini nella sua lunga contemplazione dei cieli non abbia scoperta una cometa. In questo importantissimo ramo dell'Astronomia il Santini pubblicò non poche Memorie: la prima riguarda la cometa del 1815, che pubblicò nelle Memorie dell'Accademia di Padova. L'attività del Santini nel periodo di tempo, che va dal 1824 al 1828, fu massima, ed è appunto con l'anno 1826 che incominciano

i suoi splendidi lavori sulla cometa di *Biela,* lavori che a più riprese lo occuparono per ben 30 anni, che gli procurarono assai credito all'estero e che legarono il suo nome a questa cometa; lavori che in gran parte furono pubblicati nelle Memorie dell'Accademia di Padova e dell'Istituto Veneto.

Il Santini pubblicò parecchi lavori separatamente, come:

a) Due Memorie sul novagesimo e sul pianeta Vesta;

b) *Elementi di aritmetica decimale;*

c) *Tavole dei logaritmi;*

d) *Elementi di Astronomia con le applicazioni alla Geografia, Nautica e Cronologia* (in due volumi, 1830), opera che fu tenuta in gran pregio così dai dotti nostrani, quanto dagli stranieri;

e) *Teoria degli strumenti ottici* (in due volumi, 1828), la quale opera è stata pur essa molto apprezzata.

Vi sono del Santini non poche Memorie e lavori di Matematica, con speciale applicazione all' Astronomia, tra i quali:

a) *Formule analitiche* per il calcolo delle parallassi in longitudine e latitudine con una costruzione delle Tavole del nonagesimo e loro applicazioni alla teoria delle eclissi (1807);

b) *Trattato di aritmetica decimale,* già citato;

c) *Dimostrazione della formula di Gauss in trigonometria sferica;*

d) *Delle interpolazioni e quadrature meccaniche per gli usi astronomici* (*Memorie del Regio Istituto Veneto,* vol. XIII, 1866);

e) *Compendiata esposizione del modo più vantaggioso di risolvere una serie di equazioni lineari risultanti da osservazioni tutte egualmente probabili per la determinazione degli elementi di una proposta teorica.* (*Memorie del R. Istituto Veneto,* ecc., vol. XIX, 1868).

Finalmente ricorderemo i suoi *Cataloghi stellari,* che comprendono i seguenti scritti, pubblicati nei Nuovi Saggi della Cesareo-Regia Accademia di Scienze, lettere ed arti di Padova e nelle *Memorie dell' Istituto Veneto:*

a) *Relazione* intorno alla costruzione ed all'uso del circolo meridiano;

b) *Posizioni medie delle stelle fisse*, ridotte al principio dell'anno 1840, disposte in zone di 2° in 2° gradi, rapporto alle loro declinazioni, per servire alla formazione di un nuovo catalogo, dedotte dalle osservazioni fatte nell'Osservatorio di Padova;

c) *Posizioni medie delle stelle fisse*, ridotte al principio dell'anno 1840, disposte in zone di 2° in 2° gradi, rapporto alle loro declinazioni, ecc. (Continuazione della Memoria precedente);

d) *Posizioni medie di 2706 stelle*, pel 1° gennaio 1860, distribuite nella zona compresa fra 10° e 12° 30′ di declinazione australe, dedotte dalle osservazioni fatte negli anni 1856-57-58 nel 1° Osservatorio astronomico di Padova;

e) *Posizioni medie di 2246 stelle*, distribuite nella zona compresa fra i 12° e i 15° di declinazione australe, dedotte dalle osservazioni fatte dal signor Trettenero nell'Osservatorio di Padova negli anni 1857-58-59-60-61;

f) *Posizioni medie di 1425 stelle*, pel principio del 1860, distribuite nella zona compresa fra 0° e 3° di declinazione australe, dedotte dalle osservazioni fatte dal defunto professore Trettenero nell'Osservatorio di Padova, a datare dal 18 aprile 1861 al 3 febbraio 1863.

Fra gli scritti vari del Santini ricorderemo soltanto il discorso accademico letto nell'adunanza solenne del 30 maggio 1853: *Sul progresso degli studi astronomici negli ultimi tempi;* questo lavoro è una delle più felici sintesi dei progressi dell'Astronomia.

Secchi (1). Angelo Secchi nacque in Reggio Emilia il 18 giugno 1818 e morì in Roma al Collegio romano il 21 febbraio 1878. Appartenne alla Compagnia di Gesù; ai tempi della Repubblica Romana (1848) esulò in Inghilterra e nel-

(1) Vedi, come per il Piazzi, l. c., pag. 255 della *Storia delle Matematiche*, e pag. 130 e seguenti dell'opera di Rayet. Vedi inoltre «Commemorazione del P. Angelo Secchi», letta nell'Aula Magna del Collegio Romano dal prof. Millosevich. — Tip. della R. Accademia dei Lincei, Roma, 1903.

l'America settentrionale, ove seguitò a studiare. Egli compì i suoi studî in Roma; fu insegnante di Matematiche nel Collegio Romano e di Fisica a Loreto. Nel 1849, rimpatriato, fu nominato Direttore dell'Osservatorio astronomico del Collegio Romano, ove passò, meditando e scrivendo, tutta la sua vita.

Il Secchi fino dal 1842 incominciò le osservazioni sulla temperatura dei diversi punti del Sole e arrivò fino a quelle che avevano per oggetto di conoscere la costituzione fisica di quest'astro.

Nel 1860 il Secchi, allorchè fu al *Desierto de las Palmas* ad osservare l'eclisse totale del Sole del 18 giugno (*Relazione delle osservazioni fatte in Ispagna durante l'eclise totale del 18 luglio 1860,* Roma, 1860; e vedi *Memorie dell'Osservatorio del Collegio Romano,* tomo II, nuova serie), incominciò i suoi lavori sulle protuberanze del Sole, che seguitò sino agli ultimi anni della sua vita, lavori che costituiscono senza dubbio il merito principale di questo astronomo.

I lavori di Kirchoff sui raggi oscuri dello spettro solare nel 1860 aprirono una nuova via all'Astronomia Fisica; e il Secchi fu uno de' primi a mettersi in questa via, onde potè fare importanti scoperte; i primi risultati di esse furono pubblicati nel *Bollettino meteorologico del Collegio Romano* del 1863, ecc.

Il Secchi, aiutato dalla limpidezza del Cielo di Roma, giunse a risolvere compiutamente le nebulose della Lyra, di Andromede e dell'Hydra, e ad un tempo disegnò la grande nebulosa di Andromede e la nebulosa di Orione (*Sulla grande nebulosa di Orione,* Firenze, 1868).

Il Secchi fino dal 1863 studiò grandissimo numero di stelle, il cui splendore discende fino alla 7ª grandezza; queste ricerche sono esposte in una serie di quattro Memorie, che sono:

1ª *Sugli spettri prismatici delle stelle fisse* (*Atti della Società italiana dei XL,* serie 3ª, t. 1, 1867).

2ª *Sugli spettri prismatici delle fisse;* Memoria secunda (Ibid., t. II, 1868).

3ª *Sugli spettri prismatici dei corpi celesti;* Memoria tertia (Ibid., t. II, 1870).

4ª *Sugli spettri prismatici dei corpi celesti* (*Atti dei Nuovi Lincei,* anno XXV, 1872).

Queste Memorie condussero il Secchi a classificare le stelle in quattro tipi.

La determinazione del tipo degli spettri del più gran numero di stelle visibili sull'orizzonte di Roma è già per sè stesso un lavoro di grandissima importanza; ma il Secchi è andato anche più in là: egli ha misurato con sufficiente esattezza la posizione di certe linee di questi spettri, particolarmente di *F*, di *D* e di *C*, e si è assicurato così che le stelle contengono, come il Sole, parecchi dei nostri corpi semplici, ecc.

Concludendo, diremo che gran parte delle opere del Secchi vertono sulla fisica celeste, e senza dubbio esse gli fruttarono gran fama. Il Secchi scrisse molte Note, Memorie e Dissertazioni per Accademie ed Istituti e giornali; inoltre: 1° *Il quadro fisico del sistema solare;* 2° *Le Soleil,* compendio sublime di quanto si conosce finora sul Sole; 3° *Le stelle, saggio di Astronomia siderale;* 4° *L'unità delle forze fisiche,* lavoro di fisica molecolare (2 volumi); 5° *Le lezioni di fisica terrestre,* ecc.

Bisognerebbe ora considerare Angelo Secchi come meteorologo, geodeta e cultore del magnetismo terrestre, ma si andrebbe troppo in lungo; onde rimandiamo il lettore alla Commemorazione del P. Angelo Secchi del prof. Millosevich, già citata.

De-Gasparis (1). Annibale De-Gasparis nacque a Bagnara in provincia di Aquila il 9 novembre 1819 e morì in Napoli il 21 marzo 1892. Studiò nel seminario di Chieti; poi recatosi in Napoli (1839), dietro consiglio del Capocci, vi studiò matematiche sotto il Tucci ed il De Angelis: entrò nella scuola di ponti e strade, che abbandonò ben presto per darsi allo studio della scienza a lui prediletta, l'*Astronomia*. Nel 1842 fu accolto come alunno dal Capocci nell'Osservatorio di Capodimonte, ove si segnalò ben presto pel suo ingegno e per la sua rara attitudine di osservatore diligente e di calcola-

(1) Vedi, come per il Piazzi, l. c., a pag. 255 della *Storia delle Matematiche*, ed a pag. 173 dell'opera del RAYET.

tore indefesso; finalmente nel 1851 fu nominato professore di Astronomia nella Università di Napoli; e nel 1864, dopo la morte del Capocci, fu nominato direttore dell'Osservatorio di Capodimonte. Di fibra assai robusta, il De Gasparis resisteva per lunghe ore al lavoro intellettuale più intenso, sia di sviluppi analitici, sia di calcoli numerici, od a quello delle osservazioni; lavorò indefessamente non solo nel campo dell'Astronomia pratica, seguitando specialmente le osservazioni per la coltura dei piccoli pianeti, ma ancora in quella dell'Analisi matematica e dell'Astronomia teorica, con un grandissimo numero di Memorie, quasi tutte inserite negli *Atti e nei Rendiconti dell'Accademia di Napoli.* La prima scoperta del De Gasparis fu quella del pianeta Igea (14 aprile 1849, e subito dopo quella di Partenope (11 maggio 1850), di Egeria (2 novembre 1850), d'Ennomia (29 luglio 1851), di Psiche (17 marzo 1852), di Massalia (19 settembre 1852), di Temi (6 aprile 1853), d'Ausonia (10 febbraio 1861) di Beatrice (26 aprile 1865).

Il De Gasparis richiamò inoltre la sua attenzione sui processi di calcolo, che forniscono il mezzo per determinare le orbite degli asteroidi da lui scoperti, e pubblicò su tale questione un gran numero di Memorie. Poi egli perfezionò i metodi che conducono alla conoscenza del piano dell'orbita (1846); indi cercò le formule proprie per determinare gli elementi della ellisse nel caso, in cui le osservazioni sono assai distanti fra loro, e quindi si è obbligati di tener conto dei termini, che contengono le 7^{me} potenze del tempo (1862); ed infine pubblicò delle Tavole numeriche acconce per abbreviare il calcolo delle radici delle operazioni delle comete.

Il De Gasparis studiò pure le stelle doppie, che ruotano l'una intorno all'altra, per l'analogia che questo studio presenta con quello delle orbite planetarie; e seguendo un cammino un po' differente a quello tracciato da Herschel nella sua celebre Memoria del 1832, pubblicò una Memoria (1871), nella quale dopo avere, come Herschel, cercato di eliminare, con una costruzione grafica, gli errori inerenti alle osservazioni, cercò, direttamente e senza calcoli ausiliari, l'ellisse vera e la sua posizione nello spazio.

Fra i lavori teorici del De-Gasparis se ne trovano molti di matematiche pure. I lavori di questo astronomo si trovano in gran parte (dal 1846 al 1889), circa un centinaio, pubblicati nelle *Memorie della Reale Accademia di Napoli* nel *Comptes Rendus de l'Académie des sciences* di Parigi, nei *Trapunti dell' Accademia dei Lincei*, nelle *Memorie della Società Italiana dei LX*, nelle *Memorie* dell'*Astronomical Society of London*, e nelle *Astronomische Nachrichten* (n. 1177 e n. 1201), una Nota sul metodo per misurare le distanze mutue degli stessi astri, ecc. Il De Gasparis era insignito di molte onorificenze delle più ambite, membro di quasi tutte le Accademie italiane e straniere, senatore del Regno fin dal 1861. La sua bontà d'animo e la sua generosità verso i poveri erano proverbiali.

Respighi (1). Lorenzo Respighi nacque in Cortemaggiore, nella provincia di Piacenza, il 7 ottobre 1824, e morì in Roma il 10 dicembre 1889.

Incominciò a Parma gli studî letterari e filosofici, che poi compì a Bologna, dove nel 1844 intraprese il corso universitario di filosofia e matematica, conseguendo al fine di esso la laurea *ad honorem*. La stima che avevano di lui concepita i professori di quell'insigne Ateneo, gli aprì ancora giovanissimo l'adito alla carriera del pubblico insegnamento; ed infatti nel 1849 veniva nominato sostituto alla cattedra di meccanica razionale ed idraulica, due anni dopo professore di ottica ed astronomia, e nel 1855 direttore dell'Osservatorio astronomico della Università di Bologna.

I pochi anni decorsi dal 1851 al 1855 costituiscono per il Respighi il periodo di preparazione agli studi astronomici, a cui sentivasi specialmente chiamato, ed ai quali consacrò poscia la sua vita; e fu in questo periodo che egli intraprese un primo viaggio d'istruzione e frequentò per qualche tempo l'Osservatorio di Brera in Milano, allora diretto dall'astronomo Carlini.

(1) Vedi la breve biografia «Lorenzo Respighi» del professore A. Di-Legge, pubblicata nell'*Annuario* della R. Università di Roma del 1890-91.

Dal 1855 al 1864, nel qual tempo diresse la specola bolognese, la scarsezza dei mezzi d'osservazione, che questa poteva fornirgli, non fu ostacolo alla sua sorprendente attività; ed i suoi lavori di Meteorologia, di Ottica e di Astronomia gli conquistarono ben presto un posto distinto fra gli astronomi contemporanei. Fu in questi primi anni della sua carriera scientifica, che egli scoprì le tre comete IV, 1862; III, 1863; V, 1863.

Nel 1865 il professore Ignazio Calandrelli, direttore dell'Osservatorio del Campidoglio, colto da grave malattia, che lo condusse in breve alla tomba, lo propose a suo successore; e così nell'anno stesso venne Respighi chiamato a dirigere quest'Osservatorio e nominato professore di Ottica ed Astronomia nell'Università di Roma. E qui pure ebbe a lottare con la deficienza dei mezzi di osservazione, non essendo a tal riguardo l'Osservatorio del Campidoglio meglio provveduto di quello di Bologna. Con tutto ciò egli seppe estendere, fin dove gli fu permesso, le sue ricerche alle più importanti ed attuali questioni dell'Astronomia, dimostrando in tutti i suoi lavori quel criterio e quella abilità, che caratterizzano il vero scienziato e l'esperimentato osservatore.

I suoi studî sulla scintillazione, sugli spettri delle stelle e della corona solare, sulle protuberanze del Sole, nelle quali ultime per il primo introdusse le osservazioni sistematiche, gli meritarono di essere annoverato fra i più insigni cultori della Astronomia fisica.

Nè meno apprezzati dagli astronomi sono i suoi lavori sul diametro solare, le sue osservazioni delle stelle circumzenitali, per le quali ideò e fece costruire un nuovo cannocchiale zenitale, e principalmente il Catalogo delle declinazioni medie di 2534 stelle dell'emisfero boreale, da lui compilato sulle osservazioni eseguite dal 1875 al 1881.

Era egli membro della Commissione italiana del grado europeo e della Commissione superiore dei pesi e delle misure, e nell'uno e nell'altro ufficio prestò la sua opera attiva ed intelligente. Apparteneva all'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna dal 1851, alla Società Astronomica di Germania dal 1863, all'Accademia dei Lincei dal 1866, alla

Regia Società astronomica di Londra dal 1872, alla Società italiana delle scienze, detta dei XL, dal 1878, al Regio Istituto veneto di scienze, lettere ed arti dal 1879, alla Società di Fisica e storia naturale di Ginevra dal 1881, alla Società degli Spettroscopisti italiani dal 1888, e ad altre minori Società ed Accademie scientifiche italiane e straniere.

Fu Lorenzo Respighi padre e marito incomparabile, amico sincero, nella vita privata e pubblica integro cittadino, nell' insegnamento zelante ed affettuoso maestro.

Elenco delle sue pubblicazioni scientifiche.

1. *Réflexions sur les principes fondamentaux du calcul differentiel* (*Comptes-rendus de l'Accadémie des sciences*. Paris, 5 sept. 1853).

2. *Sul moto del pendolo* (*Memorie dell' Accad. delle Scienze dell' Ist. di Bologna*). Vol. V, 1854.

3. *Considerazioni sulle equazioni generali dell'equilibrio dei fluidi*. (Id., vol. VII, 1856).

4. *Sul clima bolognese* (*Memoria* Iª). Id., vol. VII, 1857.

5. *Sull'accomodamento dell'occhio umano per la visione distinta delle diverse distanze*. (Id., vol. VIII, 1858).

6. *Sull'irradiazione oculare*. (Id., vol. IX, 1859).

7. *Esame delle vicende meteorologiche del quarantennio 1819-1858 in relazione alla quantità di frumento raccolto nel Comune di Bologna, Società Agraria*. Bologna, 1860.

8. *Sui fenomeni cometari* (*Mem. Acc. Ist. Bologna*. Vol. X, 1860.

9. *Sulla declinazione magnetica assoluta di Bologna*. (Id. vol. X, 1860).

10. *Sopra alcuni straordinari fenomeni osservati nella occultazione delle stelle*. (Id., vol. XI, 1861).

11. *Observation du passage de Mercure sur le soleil le 12 novembre 1861*. (*Compt. ren. de l'Acad. des sciences*. Paris, 20 janvier 1862).

12. *Sul clima bolognese* (*Memoria IIª*) *Mem. dell' Acc. delle Scienze dell' Ist. di Bol*. Vol. XI, 1862.

13. *Sulle osservazioni circumzenitali delle Stelle*. (Id., serie 2ª, vol. II, 1863).

14. *Sulla latitudine dell' Osservatorio di Bologna.* (Id., serie 2ª, vol. II, 1863).

15. *Intorno l'influenza del moto dei mezzi rifrangenti sulla direzione dei raggi luminosi.* (Id., serie 2ª, vol. II, 1864).

16. *Sulle oscillazioni diurne del barometro nel clima bolognese.* (Id. serie 2ª, vol. III, 1864).

17. *Sulla causa del periodo diurno del barometro.* (Id., serie 2ª, vol. IV, 1865).

18. *Sul cratere lunare Linneo* (Nota 1ª) (*Atti della R. Accad. dei Nuovi Lincei*). Vol. XX, 1866-67.

19. *Sulla latitudine dell' Osservatorio del Campidoglio.* (Id., vol. XXI, 1867-68).

20. *Sulla velocità della luce dedotta dagli eclissi dei satelliti di Giove e dell'aberrazione della luce.* (Id., vol. XXI, 1867-68).

21. *Sul cratere lunare Linneo* (Nota 2ª). Id., vol. XX, 1867-68.

22. *Sulla scintillazione delle stelle* (Nota 1ª). Id., vol. XXI, 1867-68.

23. *Sul nuovo cannocchiale zenitale dell' Osservatorio del Campidoglio.* (Id., vol. XXII, 1868-69).

24. *Sulla scintillazione delle stelle* (Nota 2ª). Id., vol. XXII, 1868-69.

25. *Osservazioni degli spettri delle stelle per mezzo di un grande prisma applicato all'obbiettivo del cannocchiale dell'Osservatorio del Campidoglio.* (Id., vol. XXII, 1868-69).

26. *Osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari* (Nota 1ª). Id., vol. XXIII, 1869-1870.

27. *Osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari* (Nota 2ª). Id., vol. XXIII, 1869-70.

28. *Sulle protuberanze o vulcani del Sole.* (Lettura fatta all'Accademia Tiberina il 14 febbraio 1870).

29. *Osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari* (Nota 3ª). (*Atti della R. Accademia dei Lincei*, vol. XXIV, 1870-71).

30. *Sulla costituzione fisica del Sole.* (Id., vol. XXIV, 1870-71).

31. *Sul cannocchiale zenitale dell' Osservatorio della R. Università di Roma nel Campidoglio.* (Id., vol. XXIV, 1870-71).

32. *Sulle osservazioni spettroscopiche del bordo delle protuberanze solari* (Nota 4ª). Roma, 30 luglio 1871.

33. *Lettres sur les derniers travaux relatifs aux protubérances solaires* (*Compt. rend. de l'Acad. des sciences*). Paris, 21 août 1871.

34. *Osservazione dell'eclisse totale del Sole del 12 decembre 1871* (*Atti della R. Accad. dei Lincei*, vol. XXV, 1871-72).

35. *Sullo spettro della luce zodiacale e sulla luce delle aurore polari.* (Id., vol. XXV, 1871-72).

36. *Relazione sul suo viaggio scientifico nelle Indie orientali.* (Lettera al Ministro della P. Istruzione, Roma, 1° febbraio 1872).

37. *Sur l'analyse spectrale de la lumière zodiacale* (*Compt. rend. de l'Acad. des sciences*. Paris, 19 febbraio 1879).

38. *Sulla nota del P. Secchi, intitolata « Sull'ultima eclisse solare del 12 dicembre 1871 »* (*Atti della R. Accad. dei Lincei*, vol. XXV, 1871-72).

39. *Note en réponse au P. Secchi sur la constitution du Soleil* (*Compt. rend. de l'Ac. des scienc.* Paris, 20 maj 1872).

40. *Réponse aux critiques presentées par le P. Secchi à propos des observations faites sur quelques particularités de la constitution du Soleil.* (Id., 15 juillet 1872).

41. *Sulle osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari* (Nota 5ª). *Atti della R. Accad. dei Lincei*, vol. XXV, 1871-72.

42. *Sulla corona solare.* (Id., vol. XXV, 1871-72).

43. *Observations pendant l'eclisse total de 25 décembre 1871* (*Comptes rendus du cirques de Bordeaux*. Seance du 6 septembre, 1872).

44. *Sur la lunette zénitale de l'Observatoire du Capitole.* (Id., Séance du 9 septembre, 1872).

45. *Sur la scintillation des étoiles.* (Id., Séance du 9 séptembre 1872).

46. *Sur les protubérances solaires.* (Id., Séance du 11 septembre 1872).

47. *Straordinaria pioggia di stelle cadenti nella notte del 27 e 28 novembre 1872.* (*Atti della R. Accad. dei Lincei*, vol. XXVI, 1872-73).

48. *Sulle variazioni del diametro del Sole in corrispondenza al vario stato di attività della sua superficie.* (Id., vol. XXVI, 1872-73).

49. *Osservazione allo spettroscopio dell'eclisse parziale del Sole del 26 maggio 1873.* (Id., vol. XXVI, 1872-73).

50. *Sur la grandeur des variations du diamètre solaire.* (*Comptes rend. de l'Acad. des sciences.* Paris, 29 sept. 1873).

51. *Sur la grandeur et les variations du diamètre solaire* (Id., 6 octobre 1873).

52. *Variazioni e grandezza del diametro solare.* (*Atti della R. Accad. dei Lincei, Rendiconti*, serie 2ª, vol. I, 1873-74).

53. *Visibilità di righe della cromosfera.* (Id., id., serie 2ª, vol. I, 1873-74).

54. *Sulla latitudine della stazione Barberini a Monte Mario.* (Id., id., serie 2ª, vol. II, 1874-75).

55. *Sulle variazioni del diametro del sole in corrispondenza al vario stato di attività della sua superficie.* (Id., *Memorie*, serie 2ª, vol. II, 1874-75).

57. *Sulle osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari* (Nota 6ª). Id., id., serie 2ª, vol. II, 1874-75.

58. *Sulla scintillazione delle stelle in riguardo alla quantità della loro luce e del loro spettro.* (Id., *Rendiconti*, serie 2ª, vol. III, 1875-76).

59. *Osservazioni del diametro solare, fatte al R. Osservatorio del Campidoglio.* (Id. *Memorie*, serie 2ª, vol. III, 1875-76).

60. *Sulla latitudine del R. Osservatorio del Campidoglio.* (Id. id., serie 3ª, vol. I, 1876-77).

61. *Osservazione del diametro orizzontale del Sole, fatto nel R. Osserv. del Camp. nel 1876* (Id. id., serie 3ª, vol. I, 1876-77).

62. *Sulle osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari* (Nota 7ª). Id. id., serie 3ª, vol. I, 1876-77.

63. *L'analisi spettrale nelle sue attinenze ed applicazioni all'Astronomia.* Discorso per l'inaugurazione degli studi nella R. Università di Roma. (*Annuario della R. Università per l'anno scolastico 1877-78*).

64. *Ricerca del supposto pianeta Vulcano.* (*Atti della R. Accademia dei Lincei. Rendiconti*, serie Bª, vol. II, 1877-78).

65. *Sul passaggio di Mercurio sul Sole del 6 maggio 1878.* (Id. id., serie Bª, vol. II, 1877-78).

66. *Declinazioni medie pel 1875, o di 285 stelle dalla 1ª alla 6ª grandezza comprese fra i paralleli di declinazione nord 20° e 64°.* (Id. *Memorie*, serie 3ª, vol. II, 1877-78).

67. *Osservazioni del diametro orizzontale del Sole fatte al R. Osserv. del Camp. nel 1877.* (Id. id., serie 3ª, vol. II, 1877-78).

68. *Sulla burrasca atmosferica del 24 e 25 febbraio 1879.* (Id., *Rendiconti*, serie 3ª, vol. III, 1878-79).

69. *Elogio del P. Angelo Secchi.* (Lettura fatta all'Accademia Tiberina nel 1879).

70. *Catalogo delle declinazioni medie pel 1875, o di 1463 stelle comprese fra i paralleli 20° e 64° nord* (*Atti della R. Accademia dei Lincei, Memorie*, serie 3ª, vol. III, 1879-86).

71. *Osservazioni del diametro orizzontale del Sole fatte al R. Osserv. del Campid. negli anni 1878 e 1879.* (Id. id., serie 3ª, vol. III, 1879-80).

72. *Sulle ragioni della chiarezza delle immagini fotografiche del Sole.* (Id., *Rendiconti*, serie 3ª, vol. V, 1880-81).

73. *Determinazione della differenza di longitudine fra Roma e Milano.* (Id. id., serie 3ª, vol. V, 1880-1881).

74. *La luce delle comete.* (Id. id., serie 3ª, vol. V, 1880-81).

75. *Sur la lumière des comètes* (*Compt. rend. de l'Acad. des sciences.* Paris, 5 septembre 1881).

76. *Sopra la straordinaria pressione atmosferica nel gennaio 1882.* (*Atti della R. Accad. dei Lincei, Rendiconti*, serie 3ª, vol. VI, 1881-82).

77. *Sulla cometa Wells.* (Id. id., serie 3ª, vol. VI, 1881-82).

78. *Operazioni eseguite nell'anno 1879 per determinare la differenza di longitudine tra gli Osservatorî astronomici del Campidoglio in Roma e di Brera in Milano, dai professori Lorenzo Respighi e Giovanni Celoria.* (Pubblicazioni del R. Osservatorio di Brera in Milano 1882).

80. *Esperienze fatte al R. Osservatorio del Campidoglio per la determinazione del valore della gravità.* (*Atti della R. Accademia dei Lincei, Memorie*, serie 3ª, vol. XII, 1881-82).

81. *Osservazioni del diametro orizzontale del Sole, fatte al*

R. Osservatorio del Campidoglio negli anni 1880 e 1881. (Id. id., serie 3ª, vol. XIII).

82. *Osservazioni nel R. Osservatorio del Campidoglio fatte sul passaggio di Venere sul Sole del 6 dicembre 1882* (Nota 2ª). (Id., serie 3ª, vol. VII, 1882-83).

83. *Sul passaggio di Venere sul Sole del 6 dicembre 1882* (Nota 2ª). (Id. id., serie 3ª, vol. VII, 1882-83).

84. *Sulla cometa Finlai del 1882.* (Id. id., serie 3ª, vol. VII, 1882-83).

85. *Sugli straordinarii fenomeni crespuscolari osservati in questi ultimi mesi (1883-84).* Id.id., serie 3ª, vol. VIII, 1883-84).

86. *Osservazioni sulla cometa Wolf fatte al circolo meridiano dell' Osservatorio del Campidoglio.*

87. *Sulle osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari* (Nota 8ª). Id. *Memorie* serie 4ª, vol. I, 1884-85.

88. *Catalogo delle declinazioni medie pel 1880, o di 1004 stelle comprese fra 0° e 20° nord, 64°, 90° nord* (Id. id., serie 4ª, vol. I, 1884-85).

89. *Sui cambiamenti di refrangibilità dei raggi spettrali della cromosfera e delle protuberanze solari.* (Id. *Rendiconti,* serie 4ª, vol. II, 1885-86).

90. *Sullo spettroscopio obbiettivo.* (Id. id., serie 4ª, vol. II, 1885-86).

91. *Sulle osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari, fatte dal 1887 al 1884.* (Id. id., serie 4ª, vol. III, 1885-86).

92. *Sulle osservazioni spettroscopiche del bordo e delle protuberanze solari, fatte dal 1881 al 1884.* (Id. id., serie 4ª, vol. III, 1885-86).

93. *Sulla grandezza apparente del diametro orizzontale del Sole e delle sue variazioni.* (Id. id., serie 4ª, vol. III, 1885-86).

Donati (1). — Giovanni Battista Donati nacque in Pisa il 16 dicembre 1826 e morì di colera il 19 settembre 1873, di

---

(1) Vedi, come per il Piazzi, l. c., nelle *Storie delle matematiche,* a pag. 254 ed a pag. 60, dell'opera del Rayet.

ritorno dal Congresso meteorologico di Vienna, nella villetta situata nel podere dell'Osservatorio di Arcetri.

Il Donati incominciò e terminò i suoi studi a Pisa, sotto la direzione del celebre Mossotti, che allora insegnava in quell'Università Astronomia, della quale ben tosto egli s'innamorò. Ma l'Osservatorio astronomico a Pisa non v'era che di nome; onde il Donati, per coltivare l'Astronomia pratica, dovè entrare (il 5 agosto 1852) nell'Osservatorio di Firenze, di cui fu poi (il 1° ottobre 1854) nominato astronomo applicato ed insignito (il 19 settembre 1858) astronomo aggiunto, ed infine nel 1864 direttore dell'Osservatorio e professore di Astronomia nel Regio Istituto di Studî superiori di Firenze.

Assiduo osservatore, il giovane pisano scoprì successivamente le Comete del 1854, IV (18 settembre 1854), del 1855, II (3 giugno 1855), del 1857, VI (10 novembre 1857), del 1858, V (2 giugno 1858), del 1864, II (27 luglio 1864), ed infine del 1864, III (9 settembre 1864). Nello stesso tempo egli osservava e spesso calcolava le orbite delle principali Comete, che allora apparivano sull'orizzonte.

Il suo titolo principale, che lo raccomanda alla riconoscenza degli astronomi, non è pertanto costituito nè dalle sue osservazioni sulle Comete, nè dalle sue ricerche delicate sulle trasformazioni della Cometa, che porta il suo nome; ma egli ebbe soprattutto il merito di riprendere e di sviluppare grandemente gli studi sullo spettro delle stelle ad un'epoca, in cui tale questione era stata messa da banda, obliando quasi del tutto le antiche ricerche di Fraunhofer e di Lamont. Questi studî diedero origine alla sua Memoria *Intorno alle storie degli spettri stellari.* (*Annali del Regio Museo di Firenze* per il 1865, nuova serie, vol I); ma questa Memoria porta la data dell'agosto 1860.

Si deve ancora al Donati una Memoria interessante sulla eclisse del 18 luglio 1860, che egli andò ad osservare in Ispagna in compagnia di parecchi altri astronomi italiani: essa è: *Intorno alle osservazioni fatte a Torreblanca* della eclisse totale di Sole del 18 luglio 1860. (Annali del Regio Museo di Firenze per il 1865, nuova serie vol. I). Il risultato di questo lavoro

è che le protuberanze esistono sul corpo solare stesso e non sono punto un fenomeno di diffrazione.

Aveva il Donati incominciato a pubblicare, nel 1° fascicolo delle *Memorie dell'Osservatorio di Arcetri*, un importante lavoro sul modo, mediante il quale si erano propagati i fenomeni luminosi della grande aurora boreale del 4 febbraio 1872, quando fu inviato a Vienna, nel settembre 1873, per rappresentarvi l'Italia al Congresso meteorologico; ed in questa città prese quel germe del colera, che doveva poco dopo trarlo al sepolcro; e così lasciò incompiuto il lavoro più importante della sua vita.

La fondazione dell'Osservatorio di Arcetri devesi in gran parte all'opera indefessa del Donati, il quale si adoprò a tutt'uomo presso il Governo e gli Enti morali di Firenze per ottenere i fondi necessari non solo per la sua costruzione, ma per la dotazione degli strumenti.

Nel 1866 il Donati pubblicò l'insigne Memoria: *Determinazione dell'orbita dei corpi celesti*, mediante tre osservazioni, Memoria che dedicò al Mossotti. Oltre alle Memorie che si riferiscono alle osservazioni sulle Comete, sulle strie e la scintillazioni delle stelle e sulle aurore boreali, il Donati pubblicò un numero grandissimo di Note e Memorie, riguardanti l'Astronomia e l'Ottica astronomica; si dedicò allo studio della storia delle scienze, cercando di rivendicare ai nostri grandi le scoperte, che erano attribuite ingiustamente ad altri; tra cui mostra come il Castelli fino dal 1642 divinasse l'esistenza dell'Australia; e nel 1864 fece conoscere un manoscritto di Paolo Dal Pozzo-Toscanelli, giacente nella Biblioteca Nazionale di Firenze, sulle osservazioni delle comete apparse negli anni 1433, 1449, 1456, 1457 e 1472 (1).

È superfluo dire che il Donati fu insignito di molte onorificenze, e fu membro di quasi tutte le Accademie scienti-

(1) Il quale Toscanelli è celebre per le sue lettere cosmografiche a Cristoforo Colombo e per il grande gnomone collocato nella Cattedrale di Firenze. Il prof. Celoria dalle osservazioni del Toscanelli potè dedurre le orbite delle comete suddette.

fiche; nel 1859 ottenne il gran premio Lalande per la scoperta della gran Cometa.

Schiaparelli (1). — Giovanni Virginio Schiaparelli, tuttora vivente, nacque a Savigliano (provincia di Cuneo) il 14 marzo 1835, da genitori biellesi. Studiò prima in Savigliano, poi all'Università di Torino, ove, il 12 agosto 1854, si laureò con plauso ingegnere idraulico ed architetto civile; poi si dedicò all'insegnamento privato delle Matematiche ed allo studio dell'Astronomia.

Fu inviato dal Governo a Berlino a studiare Astronomia sotto Encke nell'anno 1857, e vi rimase fino al 1859, in cui passò all'Osservatorio di Pulkova (2), ove rimase fino al 1860. Nel 1860 fu nominato secondo astronomo nell'Osservatorio di Brera e nel 1862 direttore di esso. Insegnò pure, per alcuni anni, geodesia al Politecnico di Milano.

Sin dall'epoca della morte del Carlini, lo Schiaparelli si era già segnalato con la sua scoperta di Esperia (29 aprile 1861), le osservazioni delle comete del 1861 e del 1862, ed un confronto generale delle diverse misure di lunghezza usate in Italia.

Lo Schiaparelli pubblicò un gran numero di Memorie nelle *Effemeridi di Milano*, e sono: *Sulla direzione delle code delle comete* (1861); *Sulla distanza delle stelle fisse* (1866), ed infine: *Sulla maniera di dedurre dalle curve empiriche la vera espressione delle leggi della natura* (1867). Nello stesso tempo lo Schiaparelli pubblicò, sull'origine delle stelle filanti, una Memoria, che, divenuta popolare e classica, mostrò ch'egli possedeva qualità preziose di discussione (*Note e riflessioni intorno alla teoria astronomica delle stelle cadenti*, Firenze, 1867).

Lo Schiaparelli trattò della teoria cometaria delle stelle

---

(1) Vedi, come pel Piazzi, l. c., pag. 257 della *Storia delle Matematiche* e pag. 41 dell'opera di Rayet.

(2) Grande Osservatorio a dieci miglia da Pietroburgo, fondato (1835-1840) dall'imperatore Niccolò; esso costò 2 milioni e mezzo di lire.

filanti magistralmente, mettendo fuori di dubbio l'origine di queste brillanti meteore, divinando le leggi delle loro apparizioni e tracciando il programma di un vasto studio, che proseguì p r molti anni. (*Sulla relazione fra le comete, le stelle cadenti ed i meteoriti*, Memoria del prof. Schiaparelli. (*Memorie del R. Istituto Lombardo*, vol. XII, pag. 145, 1873).

Lo Schiaparelli, vedendo che la pubblicazione delle *Effemeridi* assorbiva tutte le risorse e le forze sue personali e dei suoi assistenti, nel 1875, in cui esse contavano un secolo di vita, venne nella deliberazione di interromperne la pubblicazione per avere maggior agio di estendere il suo campo di osservazioni ed a perfezionare i suoi istrumenti astronomici; e sin da quest' anno esse non contengono più che Memorie speciali, parecchie delle quali non hanno alcun rapporto immediato con i lavori di osservazione, come, ad esempio:

1° *I precursori di Copernico nell' antichità*, di G. Schiaparelli;

2° *Corrispondenza astronomica fra Piazzi ed Oriani*, idem;

3° *Le sfere omocentriche di Eudosso, di Callipso e di Aristotile*, idem.

Sarebbe ben arduo discorrere appieno dell'opera scientifica dello Schiaparelli: basti dire che tra Note, Memorie, Articoli, ecc., egli ha pubblicato più di duecento lavori; solo ottantuno nei Rendiconti dell' Istituto Lombardo, come si può vedere nell' Indice generale dei lavori pubblicati in essi dalla sua fondazione sino al 1900. Questi lavori riguardano, come si è visto, l'Esperia, le comete, le stelle cadenti e meteoriti, la storia dell' Astronomia antica, il carteggio fra Piazzi ed Oriani, ed inoltre le stelle fisse, le stelle doppie, Marte, Mercurio, Venere, Saturno, Verano, l'Eclissi ed il passaggio di Venere, la geodesia, la geografia, la matematica pura, la meteorologia, il magnetismo terrestre, ecc. Nel 4 gennaio 1868 ottenne la medaglia d'oro dalla Società Italiana dei XL per le sue Memorie; il 18 maggio 1868 l'Accademia di Francia gli assegnò il premio Lalande per i suoi lavori sulle stelle cadenti, e nel 29 dicembre 1890 lo stesso premio per le sue

belle osservazioni sulla rotazione di Mercurio e di Venere. Nel 9 febbraio 1872 la Società Astronomica Reale di Londra gli assegnò la medaglia d'oro « for his researches on the connexion between the orbis of comets and meteory ». Il 31 luglio 1876 l'Imperiale Accademia Tedesca S. C. gli conferì la medaglia d'oro *Cothenius* per la sua opera: *Note e riflessioni sulla teoria astronomica delle stelle cadenti*. Questi premi bastano da soli ad attestare il merito grandissimo delle opere dello Schiaparelli, le quali lo fanno collocare al primo posto fra gli astronomi odierni. Nel 1899 egli ha chiesto ed ottenuto il ben meritato riposo.

È superfluo dire che lo Schiaparelli è insignito di quasi tutti gli Ordini cavallereschi ed accademici nostrani e stranieri, e che è pure senatore del Regno da molti anni.

Tacchini (1). Pietro Tacchini nacque in Modena il 21 marzo 1838 e morì in una sua villa a Spilamberto in provincia di Modena il 24 marzo 1905. Fece gli studî secondari ed universitari nella sua città nativa, ove, in verde età, colse la laurea d'ingegnere; ma chiamato per vocazione allo studio dei cieli, studiò Astronomia alla specola di Padova sotto Giovanni Santini e Virgilio Trettenero. Nel 1859 fu nominato direttore dell'Osservatorio di Modena; ma nel 1863 lasciò questo posto ed accettò quello di astronomo aggiunto all'Osservatorio di Palermo, la direzione del quale era in quell'epoca tenuta da Gaetano Cacciatore. Creatosi a Roma, nel 1870, l'Ufficio centrale di Meteorologia, Tacchini passò a Roma al Collegio Romano, a cui poi fu annesso l'Osservatorio astronomico di detto Collegio, del quale fu direttore lo stesso Tacchini sino all'epoca in cui chiese il meritato riposo (1899).

Il Tacchini era cavaliere dell'Ordine civile di Savoia, e membro delle principali Accademie nostrane e straniere; ottenne la medaglia d'oro di Rumford per le sue assidue osservazioni solari.

---

(1) Vedi *Commemorazione del socio Pietro Tacchini*, del prof. E. Millosevich, nei « Rendiconti della Accademia dei Lincei », vol. XV, serie 5ª, fasc. 7, 1905.

Il merito principale di questo astronomo consiste nella rarissima qualità, che egli possedeva, di organizzatore di imprese ed istituzioni scientifiche e nella tenacia di vederle attuate. Di tempra robusta e di carattere forte, benchè talvolta troppo assoluto, il Tacchini non conosceva ostacoli e li superò tutti.

Ora discorreremo brevemente della sua opera scientifica.

Durante gli anni 1867, 68 e 69 col cerchio meridiano di Pistor e Martins il Tacchini osservò 1001 stelle australi, fra 18° e 29° 29′, nelle loro coordinate apparenti; questo è il più importante lavoro di Astronomia di posizione che egli abbia compiuto; ma la riduzione a forma di catalogo si fece molto attendere, poichè solo nel 1885 il P. Hagen ridusse le eccellenti posizioni all'equinozio medio del 1850,0.

L'Astronomia di posizione fatta dal Tacchini a Modena ed a Palermo fu scarsa; fu più copiosa quella che fece col Millosevich a Roma al Collegio Romano, poichè la natura del suo ingegno ed il contatto con Angelo Secchi, allorchè splendida sorgeva l'aurora dell'astro-fisica, diressero la sua attività verso la fisica solare. Però dobbiamo rammentare che, insieme al prof. Arminio Nobile, egli eseguì tutte le osservazioni occorrenti per la determinazione della differenza di longitudine fra l'Osservatorio astronomico di Palermo e quello di Capodimonte a Napoli.

Dopo il memorando eclisse del 18 agosto 1868, i metodi di osservazione spettroscopica della cromosfera solare e delle prominenze divennero metodi giornalieri, cui si dedicarono con ardore moltissimi scienziati, tra i quali anche il nostro Tacchini.

Infatti egli osservò a Palermo il 22 dicembre 1870, per la prima volta, l'eclisse totale di Sole; e precisamente nel principio del 1871 il Tacchini incominciò con il nuovo spettroscopio a visione diretta, recentemente acquistato, quella serie mai interrotta di osservazioni e di bellissimi disegni, essendo il nostro astronomo un abilissimo e felice disegnatore della cromosfera e delle prominenze.

Poco dopo il 1870 al Tacchini, insieme al padre Secchi, venne l'idea di creare la Società degli spettroscopisti italiani,

che trovò appoggio anche materiale presso il Governo; il primo volume delle *Memorie* di questa istituzione apparve nel 1872, e nel dirigere la pubblicazione di esse consacrò tutta la sua attività a Palermo, e del volume IX a Roma; nel 1899 chiamò alla direzione del periodico, insieme a lui, il professore Annibale Riccò, e la pubblicazione delle *Memorie* col volume XXVIII cominciò a Catania.

Nei trenta volumi delle suddette *Memorie,* fra il 1872 e il 1901, il numero delle Note di Tacchini è grandissimo, e numerosissimi i disegni; il più gran numero di queste sono statistiche delle sue osservazioni solari di macchie, facole e prominenze; egli aveva assunto un tipo di conteggio e di presentazione dei risultati delle sue osservazioni sistematico; ma generalmente sobrie e corte sono le conclusioni.

Le sue statistiche solari, oltre che nelle Memorie della Società degli spettroscopisti italiani, furono pubblicate in brevi riassunti nei rendiconti della Accademia di Francia e più tardi in quelli dell'Accademia dei Lincei; nelle Memorie dell'Ufficio centrale di Meteorologia e più tardi nelle Memorie dell'Osservatorio del Collegio Romano, quando precisamente, da sezione che era del primo, divenne un Istituto autonomo.

L'immutato metodo, la continuità e il lungo periodo dànno gran pregio alle sue serie di osservazioni, le quali costituiscono un considerevole contributo per la fisica solare.

In varie epoche fece diversi disegni del disco di Giove e tentò quelli del disco di Venere.

Ora diremo qualche cosa intorno ai suoi viaggi astronomici: nel 1874 iniziò la serie di questi viaggi in occasione del celebre passaggio di Venere sul disco del Sole, che egli osservò a Muddapur, in India, in compagnia di Alessandro Dorna, di Antonio Abetti e con la collaborazione di altri due osservatori. Il Tacchini non ritornò subito in Europa dopo il passaggio di Venere dell'8 dicembre 1874; ma, associatosi ad una spedizione inglese, il 6 aprile 1875 si recò a Camorta, nelle isole Nicobar, per osservare l'eclisse totale di Sole. Il 17 maggio 1882 osservò a Sohage, in Egitto, in condizioni eccellenti, l'eclisse totale di Sole in compagnia della missione inglese e francese. Una missione francese organizzata dalla

Accademia delle scienze, offrì il mezzo al Tacchini di prender parte alle osservazioni dell'eclisse totale di Sole all'isola Carolina nel Pacifico Australe nel 6 maggio 1883. Si recò a San Giorgio di Grenada ad osservare l'eclisse totale di Sole del 29 agosto 1886; era la quarta spedizione da lui compiuta col consueto proposito; e questa volta si era associato alla spedizione inglese, guidata da Lockyer. Fece altre spedizioni insieme al Riccò in Russia ed in Algeria, ma con poca fortuna.

Si sa che i tempi di contatto del lembo di Venere con il lembo del Sole, osservati con il metodo spettroscopico e col metodo ordinario soltanto all'uscita di Venere dal Sole, paragonati coi tempi assegnati dalla teoria, costituiscono un argomento di studio importante, ed il metodo spettrale, usato in tal genere di osservazione, che diede origine a tante discussioni a proposito dei passaggi del secolo XVIII, dà una certa importanza alla Memoria, che il Tacchini pubblicò a Palermo nel 1875. Più tardi, nell'altro passaggio di Venere del 1882, che osservò nelle entrate imsieme al Millosevich a Roma, è risultato ad evidenza che il metodo spettrale riesce più preciso del metodo ordinario di osservazione del primo contatto.

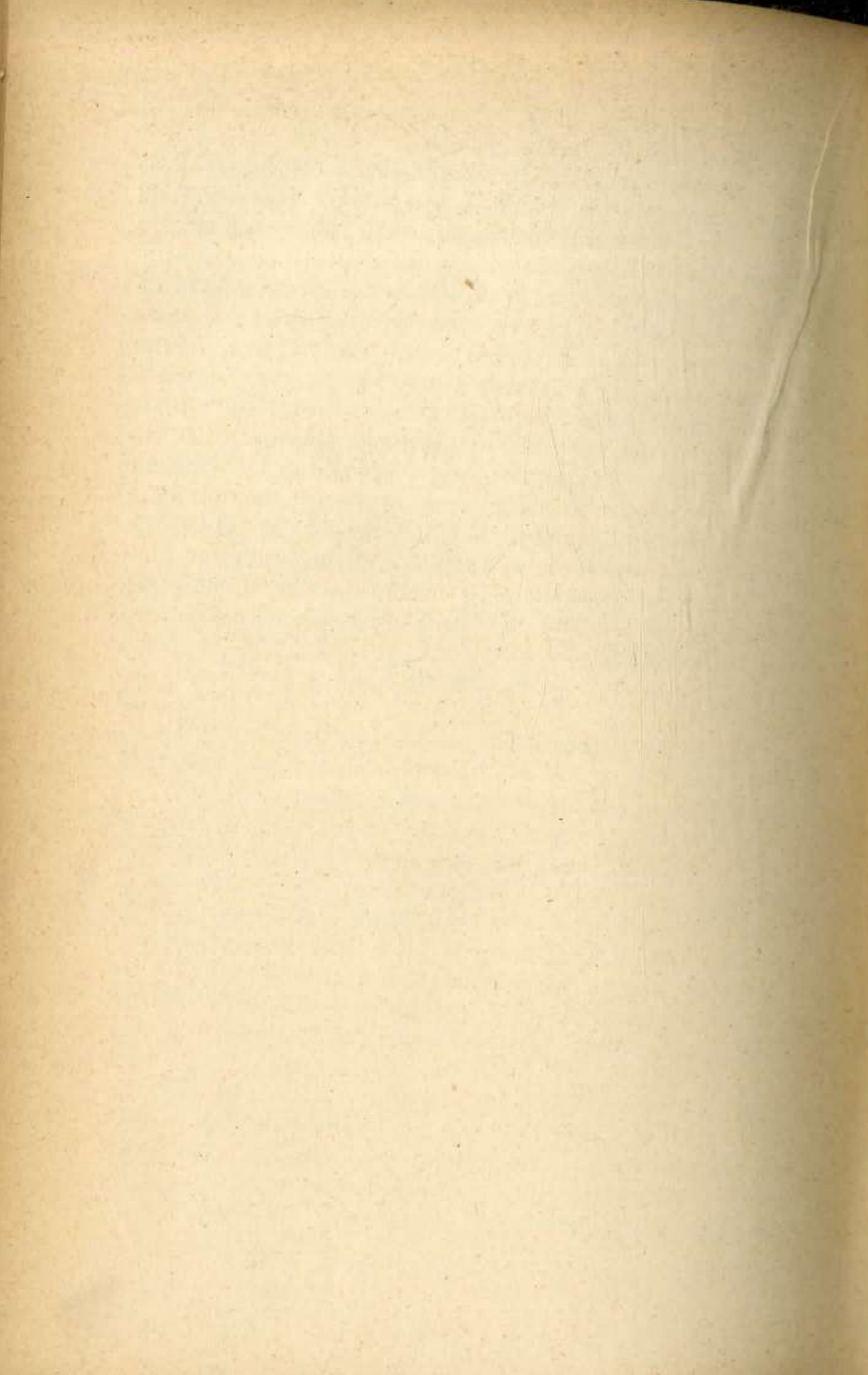
Nel 1879 fu fondato in Roma, dietro consiglio del Tacchini, l'Ufficio centrale di Meteorologia, di cui fu nominato direttore, ed era annesso all'Osservatorio astronomico del Collegio Romano, il quale allora formava una sezione del primo; ma riacquistò la propria autonomia nel luglio 1891.

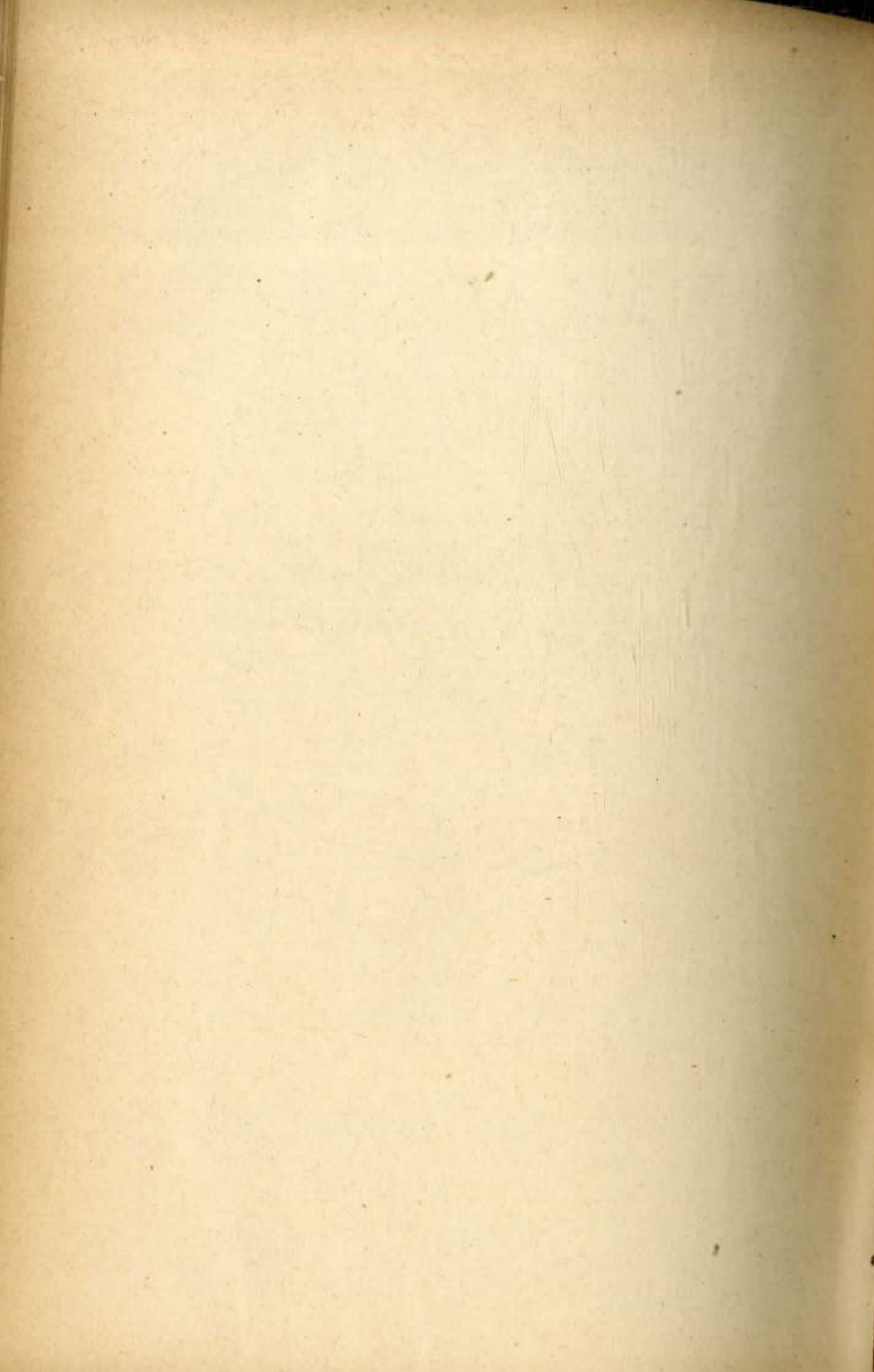
Il Tacchini curò la creazione del *Bollettino meteorico giornaliero,* oggi entrato nel 17° anno di vita; della *Rivista meteorico-agraria decadica;* del servizio dei temporali, delle osservazioni necessarie per la costruzione di una carta magnetica d'Italia, dovute prima a Ciro Chistoni, poi a Luigi Palazzo; e infine degli *Annali dell'Ufficio centrale di Meteorologia.*

Il Tacchini diede, in Italia, efficace impulso agli studi sismici, e così l'Ufficio centrale di Meteorologia divenne di Geodinamica. In tal guisa sorsero in Italia Osservatorî sismici per iniziativa del Governo, e di apparecchi sismici furon forniti gli Osservatorî meteorologici. Il Tacchini,

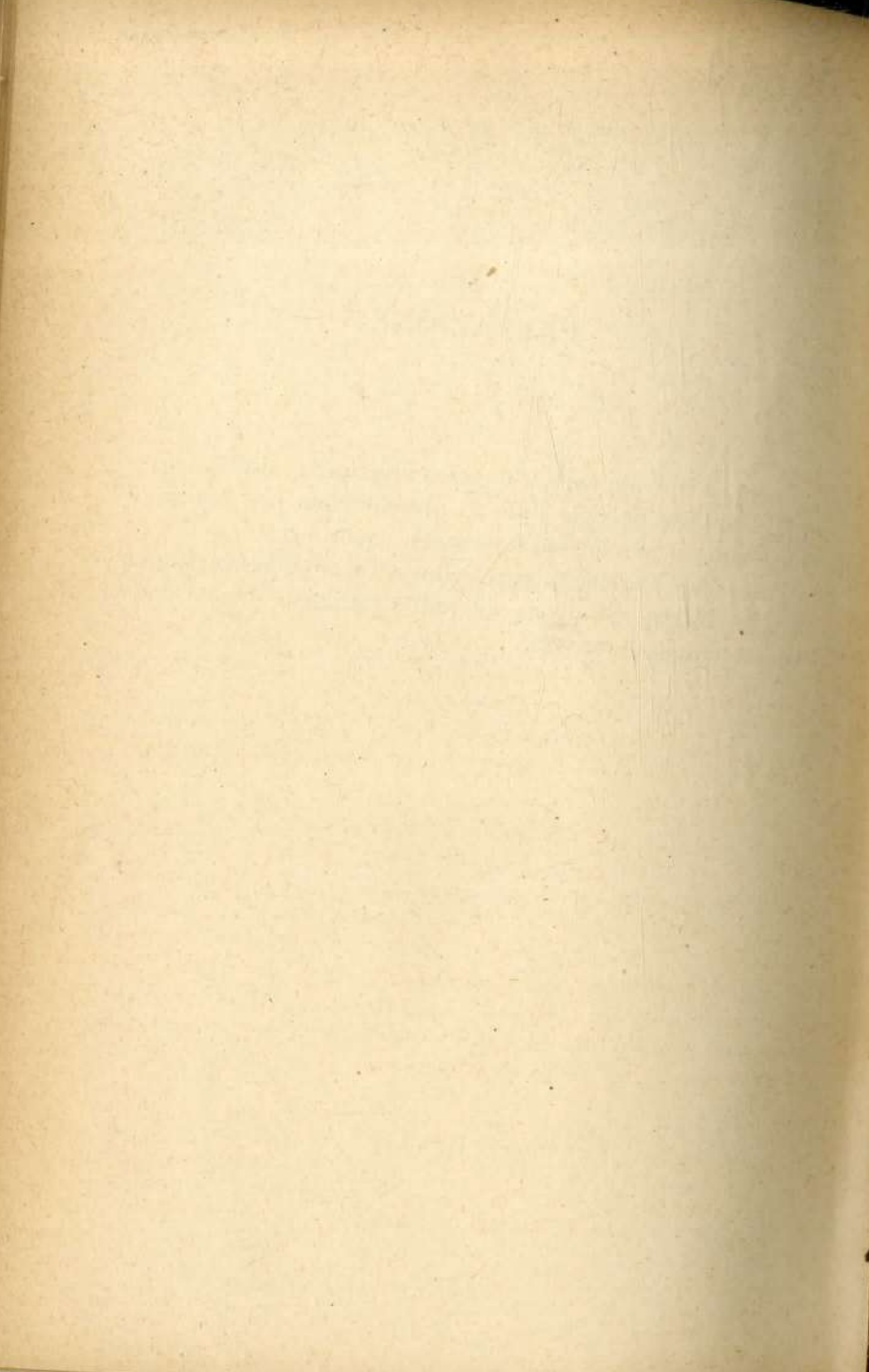
aiutato dal Governo, iniziò la Società sismologica italiana, di cui fu presidente fino alla sua morte.

Si deve al Tacchini l'idea dell'erezione dell'Osservatorio astronomico sull'Etna, il più eccelso fra gli Osservatorî di montagna, e sorse sotto la sua direzione. Dietro l'iniziativa del Tacchini l'Osservatorio astro-fisico di Catania, strettamente collegato all'Etna, sotto una unica ed illuminata direzione entrambi, ebbe l'onorifico incarico della fotografia celeste (Carta e Catalogo) per la zona fra +46° e +55°, quando presenziò, come delegato per l'Italia, il Comitato internazionale creato per quel proposito.

Per opera del Tacchini la suppellettile scientifica dell'Osservatorio astronomico del Collegio Romano fu radicalmente trasformata; e per la munificenza di Enrico Santoro ebbe i 39 centimetri di Steinheil, che, insieme al Cooke di Cerulli, occupa il secondo posto in Italia fra gli oggettivi delle nostre specole. Il Tacchini ebbe ancora assidua predilezione per il Museo astronomico, cui donò le miscellanee scientifiche da lui possedute.

APPENDICE II.

SULLE SPECOLE ITALIANE.

PREFAZIONE

In questa appendice diciamo abbastanza diffusamente delle diverse Specole italiane disponendole per ordine di antichità; e perciò esse sono state disposte così:

Bologna, Parma, Milano, Padova, Torino, Firenze, Roma, Sicilia, Napoli, Modena; ed infine parliamo degli Osservatorî minori e privati.

APPENDICE II.

Sulle Specole italiane.

Per la compilazione di questa appendice ci siamo serviti delle opere seguenti:

1° Di quella già citata del Rayet.

2° *Del secolo XIX nella vita e nella coltura dei popoli. L'Astronomia,* di Giovanni Celoria.

3° *Della storia naturale,* del dott. M. Guglielmo Meyer. *L' Universo stellato.* Trattato di Astronomia popolare, tradotto in italiano da Ottavio Zanotti-Bianco.

4° Poi mi son servito delle altre notizie, che mi sono state direttamente fornite dai diversi Osservatorî astronomici.

Osservatorio di Bologna (1).

Per la munificenza del conte Luigi Ferdinando Marsigli e A. C. Sbaraglia, fu fondato in Bologna l'Osservatorio astronomico. Nel 1712 fu cominciata la torre, ma fu condotta a termine solo nel 1725; colà Eustachio Manfredi (1674-1739), professore di Idraulica e di Astronomia e direttore di questa nuova Specola, collocò alcuni strumenti di sua proprietà ed altri donati dal conte Marsigli.

---

(1) Vedi *L'Astronomia in Bologna,* prolusione letta il 28 marzo 1903, nella Università di Bologna, dal prof. Michele Rajna. Estratto (con aggiunte) dalle *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani,* vol. XXXII, anno 1903.

Prima cura del Manfredi, come era terminata la fabbrica dell'Osservatorio, fu di determinare la posizione geografica e specialmente la latitudine di esso; e, insieme ai suoi allievi Eustachio e Mario Zanotti, la determinò, osservando la Polare a tre istrumenti, due quadranti mobili ed un semi-cerchio murale; e le tre serie concordi, principiate nel 1728, confermarono i risultati già ottenuti dal Manfredi stesso, negli anni 1703 e 1706, all'Osservatorio privato del conte Marsigli.

Il 13 marzo 1714 fu inaugurata l'Accademia delle scienze di Bologna, fondata dal conte Marsigli; ed in questa occasione il Manfredi lesse ai membri di essa una dissertazione sulla disposizione delle celebri Effemeridi di Bologna, che dovevano contenere, per i dieci anni seguenti, la predizione degli eclissi ed il loro grado di grandezza pei diversi punti di Europa.

Nel 1715, infatti, furono pubblicate a Bologna le *Ephemerides motuum coelestium ex anno MDCCXV in annum MDCCXXV;* un secondo volume con lo stesso titolo fu pubblicato nell'anno stesso; due altri *Novissimae Ephemerides motuum coelestium e Cassinianis tabulis ad meridianum Bononiae supputatae*, *auctore Eustachio Manfredi ex anno 1726 ad annum 1737,* poi *ex anno 1738 ad annum 1750,* furon successivamente pubblicate a Bologna nel 1715 e nel 1725.

Manfredi e gli altri astronomi di Bologna negli anni successivi al 1728 sino al 1739, in cui morì Manfredi, si dedicarono alle osservazioni di pianeti e di eclissi, e specialmente nel determinare sistematicamente le posizioni delle principali stelle, allo scopo di verificare le scoperte di Bradley circa l'aberrazione annua delle fisse.

Al Manfredi succedette Eustachio Zanotti (1709-1782), il quale presto si segnalò con la scoperta della cometa del 1739, di cui fece molte e buone osservazioni; e con un metodo da lui inventato ne calcolò un'orbita parabolica, e lo stesso fece per la cometa del 1742.

Nel 1741 l'Osservatorio, per la liberalità del papa Clemente XII, si era arricchito di parecchi nuovi e preziosi strumenti costruiti in Inghilterra da Sisson; ed erano: un quadrante murale di 1 metro e 20 centimetri di raggio

ed uno strumento dei passaggi di circa un metro di fuoco. Furono messi a posto con somma diligenza dallo Zanotti l'uno accanto all'altro e studiati nei loro più minuti particolari; essi si completavano a vicenda e costituivano, per que' tempi, un impianto astronomico assai importante.

Con questi due strumenti Zanotti, unitamente ai suoi allievi Brunelli e Matteucci, durante il 1748 ed il 1749, poterono compilare un catalogo di 447 stelle, oltre all'eseguire numerose osservazioni del Sole e dei pianeti; e ad un tempo l'Osservatorio seguitava a pubblicare i volumi delle *Effemeridi* di 12 in 12 anni, nelle quali lo Zanotti rispettò la forma adottata dal Manfredi, ma si studiò sempre più a perfezionarle nei particolari.

Tali importantissimi lavori conferirono allo Zanotti meritata celebrità; e quando, nel 1750, dietro richiesta dell'Accademia di Parigi, fu necessario di fare nel nostro emisfero le osservazioni lunari corrispondenti con quelle che l'abate Lacaille andava ad eseguire al Capo di Buona Speranza, lo Zanotti fu naturalmente uno degli astronomi designati per tale importante lavoro, il quale aveva per precipuo scopo di determinare con precisione la distanza della Luna dalla Terra. Le osservazioni dello Zanotti furono riconosciute tra le più esatte.

Nel 1776 lo Zanotti rinnovò la meridiana di San Petronio; e mediante le osservazioni solstiziali, fatte a quel gigantesco gnomone, potè convincersi che la latitudine di Bologna, almeno negli ultimi 80 anni, non era cambiata.

Morto lo Zanotti (1782), fu suo successore Petronio Matteucci, il quale pubblicò le *Effemeridi* dal 1787 al 1810; sotto di lui l'Osservatorio si arricchì di un piccolo equatoriale di Dollond; alla sua morte, che avvenne nel dicembre del 1800, successero con rapida vicenda Girolamo Saladini (1731-1813) ed il fisico G. B. Guglielmini, il quale è specialmente noto per le sue esperienze sulla caduta dei gravi dalla torre degli Asinelli, eseguite nel 1791 e dirette a provare con evidenza la rotazione diurna della Terra.

Nel 1802 l'astronomo Oriani fu incaricato dal Governo di recarsi a Bologna per verificare in quale stato si trovasse quell'Osservatorio astronomico; ed avendo trovata l'Astro-

nomia negletta, propose alla Repubblica Italiana che si nominasse un valente astronomo per farla rifiorire, e ne fu richiesto il Piazzi, il quale, non volendo lasciare l'Osservatorio di Palermo, a lui sì caro, declinò l'incarico, e lo declinò pure Giovanni Federico Bohnenberger (1765-1831), professore di Matematica e di Astronomia della Università di Tubinga; e questi rifiuti furono di gran danno per il progresso degli studi astronomici di Bologna nella prima metà del secolo XIX.

Nel 1803 fu nominato direttore della Specola l'abate Ludovico Ciccolini (1767-?), già astronomo aggiunto da circa due anni. Egli era stato a Parigi sotto Lalande negli ultimi anni (1799 e 1800) all'Osservatorio della Scuola militare. Il Ciccolini si occupò delle osservazioni correnti di stelle e di comete e pubblicò le *Effemeridi* per gli anni che vanno dal 1811 al 1817; e nella *Corrispondenza astronomica* del barone Zach vi sono parecchi suoi articoli su argomenti di Astronomia, Gnomonica e Cronologia.

Il celebre Zach, ora nominato, ai suoi tempi esercitò una grandissima influenza geografica; e nel 1808, passando da Bologna, vi determinò la latitudine con un cerchio ripetitore di Reichenbach, che poco dopo fu acquistato dall'Osservatorio; e come strumento trasportabile, per quei tempi, era uno dei migliori.

Il Ciccolini lasciò il suo posto nel 1815 e gli successe Pietro Caturegli di Bologna (1772?-1833), allievo della Specola fino dal 1804, il quale pubblicò gli ultimi volumi (1817-1836) delle *Effemeridi di Bologna*, che, in seguito al grande sviluppo preso dalle pubblicazioni di tal genere a Milano, Parigi, Londra e Berlino, avevano perduto ogni importanza.

Al Caturegli, che morì nel 1833, non fu sostituito alcuno nè nella cattedra, nè nella Direzione dell'Osservatorio, che fu affidata per undici anni agli astronomi aggiunti, Francesco Bertelli (1794-1844) e Gaetano Ceschi (?-1845). Il primo era più matematico che osservatore; egli lasciò un pregevole trattato, ma incompleto, di Meccanica celeste ed alcune Memorie di Astronomia teorica. Morto il Bertelli nel 1844, l'incarico della cattedra fu dato al suo collega Ceschi, allievo della

Specola dal 1815 ed astronomo aggiunto dal 1825; ma egli morì dopo poco nel gennaio 1845 senza poter fare nemmeno una lezione.

Tutti questi cambiamenti non riuscirono che a danno della Specola, la quale era di molto scaduta nella sua importanza. Però nel 1845 il Governo pontificio, per darle nuova vita, inviò a Bologna come professore e direttore dell' Osservatorio, l'abate romano Ignazio Calandrelli (1792-1866), nipote ed allievo, insieme con Andrea Conti e Giacomo Ricchebach, di Giuseppe Calandrelli (1749-1827), il fondatore dell'Osservatorio del Collegio Romano. Sua prima cura fu di mettere in buono stato gl'istrumenti, già invecchiati, e per di più assai danneggiati da un uragano del 1834.

Era necessario sostituire nell' Osservatorio il quadrante murale e l'istrumento dei passaggi del Sisson con uno strumento unico secondo le esigenze dell'Astronomia moderna; infatti il Governo pontificio nel 1846 accolse benevolmente le proposte del Calandrelli e fornì i mezzi per l'acquisto e l'impianto di un cerchio meridiano, costruito a Monaco da Ertel; detto strumento fu messo a posto nel 1851 dallo stesso Calandrelli, il quale allora non era più direttore della Specola di Bologna, poichè nel 1848 Pio IX lo aveva richiamato a Roma come professore di Astronomia e direttore del nuovo Osservatorio allora in via di formazione sul Campidoglio.

Successe al Calandrelli a dirigere la Specola di Bologna Lorenzo Respighi (1824-1889), allievo della Specola, il quale inoltre ebbe nel 1849 la cattedra di Meccanica, nel 1851 di Ottica e di Astronomia, e nel 1855 definitivamente la direzione dell' Osservatorio. Egli studiò in tutte le sue particolarità il cerchio meridiano di Ertel e poi lo impiegò ad una nuova determinazione della latitudine, avendo cura di fare le osservazioni a ore molto tarde della notte, le più acconce per ottenere risultati presumibilmente più esatti. Nel 1865 il Respighi fu chiamato a Roma ad insegnare Ottica ed Astronomia in quella Università; e dopo la morte del Calandrelli ebbe anche la direzione dell'Osservatorio del Campidoglio.

Nel 1869 fu chiamato a dirigere la Specola di Bologna Jacopo Michez (1839-1873), allievo del Santini, essendo stato per

tre anni astronomo aggiunto all' Osservatorio di Padova. Il Michez fece molti lavori interessanti, tra i quali uno importante e faticoso, eseguito a Padova e pubblicato nel 1865, cioè la ricerca delle perturbazioni sofferte dalla cometa di Biela dal 1859 al 1866.

Morto il Michez, ebbe la direzione della Specola Alessandro Palagi per due anni e poi Antonio Saporetti fino al 1900, ed ora l'astronomo Michele Rajna, allievo della Specola di Brera.

In questo lungo periodo di ventisette anni lo stato degli strumenti fece abbandonare quasi del tutto le osservazioni astronomiche; nuovi acquisti non furono fatti e la Specola di Bologna rimase in un vero stato di vecchiaia, da cui speriamo la trarrà presto, rendendole nuova vita, il nostro Governo.

Osservatorio astronomico meteorologico di Parma (1).

Nel 1759 l'astronomo Belgrado fondava presso questa Università l' Osservatorio astronomico nella torre occidentale del palazzo universitario.

Questo Osservatorio andò mano a mano ampliandosi e corredandosi di nuovi strumenti; e quando nel 1853 ne lasciò la direzione il prof. Antonio Colla, esso consisteva in una sala ottagona ad uso di specola, situata alla sommità della detta torre, ed in una loggia al piano inferiore, dove erano collocati un cannocchiale zenitale ed altri strumenti.

Quanto all' insegnamento dell'Astronomia posteriormente all'ordinamento dell' Università, dovuta al duca Ferdinando I di Borbone, trovasi ricordato che il 15 marzo 1772 il Padre Francesco Soave veniva proposto a cotesta cattedra dal Magistrato degli studî. Nel novembre 1790 era nominato titolare di Astronomia, Idraulica e Meteorologia il prof. Pietro Cossali, il quale si ritirava nel novembre 1804.

---

(1) Vedi *Annuario della R. Università di Parma* per l'anno accademico 1899-900.

Al ricostituirsi dell'Università in forma autonoma, nel 1814 fu nominato il 2 novembre dello stesso anno professore di Matematica sublime ed applicata all'Astronomia il prof. D. Luigi Pazzoni, che abbandonò l'insegnamento alla fine del 1846. Dal dicembre 1847 al 1857, la stessa cattedra fu occupata da Rebolia Cristoforo; il 24 novembre 1857 era nominato professore di Astronomia il prof. Pietro Pigorini, che passava nel 1873 alla cattedra di Fisica. La cattedra tacque nei due anni successivi e cessò nel 1875-76, quando fu soppresso in questa Università il secondo biennio della Facoltà di Scienze fisiche, matematiche e naturali.

All'insegnamento della Meteorologia non fu mai, per quanto appare, destinata una cattedra a sè. Esso fu unito a quello dell'Astronomia o della Fisica. Troviamo soltanto, dal 1844 al 1853 un professore di Meteorologia, in persona del prof. Antonio Colla, il quale sin dal 1833 pubblicava una serie di osservazioni meteorologiche ed era nel 1841 nominato direttore dell'Osservatorio meteorologico.

Ma queste osservazioni non venivano fatte dapprima in un locale apposito, sibbene nei locali stessi che servivano alle osservazioni astronomiche; soltanto più tardi fu costruita, per le osservazioni termometriche, una vera e propria finestra meteorica, furono collocati dei termometri a massima e a minima e degli igrometri.

***

Un vero Osservatorio meteorologico separato da quello astronomico sorse soltanto sotto la direzione del prof. Pietro Pigorini, che la assunse il 24 novembre 1857. Egli ottenne dopo il 1873 i fondi per questo riordinamento, che negli anni successivi fu gradatamente compiuto, destinando ad Osservatorio meteorologico la torre occidentale del palazzo Universitario coi locali adiacenti, che prima servivano per l'Osservatorio astronomico, e trasportando quest'ultimo nella torre orientale del palazzo medesimo, che prima era del tutto abbandonata.

In essa fu collocato in un'ampia sala un cannocchiale meridiano di Pistor e Martins con un pendolo astronomico

di Tiede; e al di sopra della sala meridiana in una torretta circolare coperta da una cupola metallica girante fu montato equatorialmente un cannocchiale di Lerebours e Sécretan di 12 centimetri di apertura e di m. 1.20 di distanza focale. Un cronografo situato nella sala meridiana però serviva per i due strumenti.

Subito dopo impiantato questo Osservatorio astronomico, per cura della Commissione europea per la misura dei gradi, furono eseguite fra esso e l'Osservatorio di Milano varie operazioni astronomiche per la determinazione della differenza di longitudinne di Parma.

Anche attualmente l'Osservatorio astronomico è costituito, e se esso non è in condizioni da servire ad una cattedra astronomica o a studî speciali di Astronomia, è però, come si vede, largamente provvisto di quanto occorre per le misure fisiche del tempo a servizio dell'Osservatorio meteorologico e della cattedra di fisica.

*
* *

L'Osservatorio meteorico come fu ridotto dalla trasformazione compiuta dal prof. Pigorini, e come è venuto completandosi posteriormente, consta di una sala ottagona in muratura con le pareti orientate normalmente alle quattro direzioni cardinali ed alle quattro intermedie; di una terrazza sovrastante, e di una terrazza posta dalla parete Nord del fabbricato di forma rettangolare e con pareti in muratura sul lato Sud ed a griglie di legno dagli altri tre lati.

Nella sala ottagona sono collocati un barometro Fortin, campionato con quello dell'Ufficio meteorico di Roma; un barometro registratore dei fratelli Richard; l'apparato registratore di un anemometro Brassart; e l'apparato registratore di un pluviometro. Vi sono poi altri strumenti di cui è cenno più sotto. Nella loggia a griglia si trovano diverse coppie di termometri a massima e a minima, uno psicometro a ventilatore e un termometro registratore dei fratelli Richard. Sulla terrazza sovrastante alla sala ottagona si elevano la banderuola e il mulinello dell'anemometro Brassart, la banderuola e il mulinello di un anemometro del P. Denza (esso pure

situato nella sala ottagona), ed è collocato il recipiente conico del pluviometro.

La sala ottagona è poi circondata da un' altra terrazza e su di questa sono collocati un eliofanometro di Negretti e Zamba, un nefoscopio del P. Cecchi ed un nerometro.

Le osservazioni che si fanno sistematicamente sono dunque: quelle della pressione, della temperatura, dell' umidità dell' aria, della quantità, della forma e della direzione delle nubi, della durata dell' insolazione, delle precipitazioni.

Quasi tutti gli strumenti della sala ottagona hanno un duplicato pronto a servire in caso di guasto di qualcuno di quelli, con cui si fanno di solito le osservazioni.

Quotidianamente si eseguiscono di regola quattro osservazioni e cioè: la prima, i cui dati vengono spediti immediatamente all' Ufficio centrale di Meteorologia di Roma, vien fatta alle ore 8 dall' ottobre al marzo, e alle ore 7 dall' aprile al settembre, le altre son fatte sempre alle ore 9, alle ore 15 e alle ore 21. Durante le perturbazioni atmosferiche, e specialmente durante i temporali, si intercalano altre osservazioni per seguire meglio l' andamento di questi fenomeni.

Di tutte le osservazioni vien fatta annotazione giornalmente in registri a moduli a stampa, dai quali i dati con le opportune correzioni si riportano in altri registri, dove si scrivono anche le medie decadiche e mensili. Le osservazioni relative ai temporali si registrano ampiamente in libri a parte. Le striscie di carta dell' anemometro Brassart, dopo averne fatto lo spoglio per le ore delle osservazioni ordinarie, non si distruggono, ma vengono incollate sulle pagine di un registro per poter conservare i dati sulla divisione e sulla velocità del vento, che l' apparecchio fornisce con continuità.

La posizione dell' Osservatorio corrisponde alla latitudine di 44° 48′ e alla longitudine di 2° 10′ W da Roma, ossia di 4° 41′ W dal meridiano dell' Europa centrale; l' altezza del pozzetto del barometro sul livello del mare è di m. 88,67 e sul suolo di m. 32,13.

Al disotto della sala ottagona si trova una grande sala circolare, che serve di studio; in essa si tengono i registri delle osservazioni e si compie l' importante spoglio degli an-

tichi registri di cui si parla più avanti. Allo stesso piano, e attiguo allo studio, è la biblioteca, assai ben fornita di libri antichi e moderni di Meteorologia, di Fisica e di Matematica, e di non poche fra le più importanti pubblicazioni periodiche.

È annesso anche all'Osservatorio meteorico, ma è situato nella torre di quello astronomico, un piccolo gabinetto sismico.

***

L'Osservatorio possiede, parte in libri a stampa e parte in registri manoscritti, la storia di una lunga serie di osservazioni, che datano dal 1694 e che, salvo qualche interruzione sul principio, arrivano fino ad oggi. Già da qualche anno si è cominciato il lavoro di riassumere questa storia raccogliendola in quadri, ognuno dei quali comprende un semestre con la suddivisione di ogni mese in decadi.

È già compiuto lo spoglio di circa 50 anni e attualmente esso viene continuato risalendo gradatamente agli anni anteriori. Quando questo lavoro sarà ultimato, fornirà indubbiamente una larga mèsse di dati, utile alla scienza meteorologica in generale, ed in particolare poi alla climatologia della città di Parma e di quella di tutta la valle padana.

La direzione dell'Osservatorio è stata assunta dal professor Pietro Cardani dal 1893.

L'Osservatorio astronomico di Brera in Milano (1).

Le origini dell'Osservatorio astronomico di Milano risalgono (vedi *Effemeridi di Milano* pel 1776 ed il *Journal des Savants* del settembre 1776, par Lalande) al 1760. Fondatori ne furono i Padri Gesuiti, i quali, padroni verso la metà del secolo XVIII di tutto il vasto insieme di edifizi, a cui a Milano si suol dare il nome di Palazzo di Brera, vi tenevano, oltre al loro Cenobio, un Collegio floridissimo, destinato agli studi superiori di filosofia e di teologia, dotato di tutte le pre-

(1) Queste notizie mi furono comunicate direttamente dall'illustre astronomo Giovanni Celoria, direttore di detto Osservatorio.

rogative di una Università. Nel Collegio, a quel tempo molto frequentato, l'insegnamento della filosofia abbracciava, così come oggi nelle Università germaniche, anche gli studi di Matematica e di Fisica; e furono appunto due lettori di filosofia del Collegio, i padri Pasquale Paoli e Domenico Gerra, che incominciarono in Brera a studiare gli astri ed i movimenti celesti.

Essi erano però più dilettanti che astronomi veri, e nel 1762 fu quindi dal Rettore del Collegio chiamato a Milano il padre Luigi Lagrange, gesuita egli pure, da parecchi anni cooperatore lodato del padre Pesenaz nella Specola di Marsiglia: ed a lui nel 1764 si aggiunse ancora il celebre padre gesuita Giuseppe Ruggero Boscovich, professore di Matematica nella Università di Pavia. Lagrange e Boscovich furono i veri organizzatori dell'Osservatorio di Brera, Boscovich soprattutto, uomo di grandissimo ingegno, matematico, astronomo, ingegnere peritissimo, che già aveva dato per la Specola del Collegio Romano quel disegno che il padre Secchi potè poi attuare.

Fu Boscovich che scelse a sede del nuovo Osservatorio l'angolo sud-est del vastissimo Collegio di Brera, come luogo più acconcio allo scopo e più lontano dalle strade che circondano Brera dai lati di ponente e di settentrione; si debbono a lui gli studi in tutti i suoi particolari del piano del nuovo Osservatorio, della distribuzione e della forma degli archi, delle vôlte, delle legature di ferro e di legno da farsi nel saldo edifizio già esistente, affinchè gli strumenti si potessero collocare in modo abbastanza stabile secondo le idee di quel tempo; e precisamente sui piani di Boscovich, approvati e lodati dal Governatore della Lombardia e dal Conte di Firmian, s'incominciarono i lavori, i quali, condotti con sapiente energia ed a spese del Collegio, già nell'estate del 1765 erano portati a compimento.

Essi consistevano principalmente di una grande sala per i quadranti murali, gli strumenti allora preferiti, e per altri strumenti meridiani; di una grande e bella sala ottagonale per gli strumenti minori, per gli equatoriali e per le osservazioni di vario genere, dotata di ampie finestre, di terrazze

laterali, di due cupolette mobili, portate in seguito a quattro e collocate rispettivamente in corrispondenza dei lati nord-est e nord-ovest, sud-est e sud-ovest dell'ottagono. In questi locali, che nel loro complesso in quel tempo furono assai lodati e che rassomigliano alquanto a quelli dell'antico Osservatorio di Greenwich, trovarono posto i primi strumenti destinati alle osservazioni, e che nel 1775 erano un quadrante murale ed un sestante, l'uno e l'altro di Canivet e con m. 1.95 di raggio; uno strumento dei passaggi di Megele con cannocchiale di Dollond lungo m. 1.83; un settore equatoriale di Sisson con cannocchiale di mm. 102 d'apertura e m. 1.42 di distanza focale. Ad essi poi furono aggiunti: nel 1791 un quadrante murale di Ramsden con cannocchiale largo mm. 81, lungo m. 2.60; nel 1793 un telescopio di Herschel con m. 2.13 di distanza focale e mm. 156 di diametro; nel 1809 un circolo moltiplicatore di Reichenbach con diametro uguale a cm. 97; nel 1810 un nuovo strumento dei passaggi di Reichenbach sostituito all'antico di Megele.

Da principio non regnò nell'Osservatorio di Brera quella concordia che, entratavi più tardi, non ne doveva uscire più mai. Fra Boscovich, uomo ardente, ricco di idee e di iniziative, non abbastanza lealmente e rigorosamente sostenuto dai colleghi dell'Ordine, e Lagrange, verso il quale i Gesuiti del Collegio di più inclinavano, nacque una serie di conflitti spiacevoli, sicchè Boscovich, invitato, se ne partì, nel 1772, per Parigi, donde ritornò a Milano solo nel 1785, per morirvi nel 1787.

Partito nel 1772 il padre Boscovich, l'Osservatorio di Brera, in conseguenza della Bolla di soppressione dell'Ordine gesuitico, pubblicatasi nell'estate del 1773, divenne d'un tratto proprietà dello Stato, rimanendovi però ancora direttore il padre Francesco Reggio (1743-1804), il padre Angelo Cesaris, l'abate Barnaba Orioni, dei quali due ultimi si è parlato nella prima appendice.

Non durò molto il Lagrange nella nuova sua posizione ufficiale; sen ritrasse anzi nel 1777, ritirandosi a Macon, patria sua, dove morì nel 1783.

Partito Lagrange, la direzione dell'Osservatorio di Brera

passò nelle mani del Reggio; ma in realtà fra i tre amici e colleghi, Reggio, Cesaris, Oriani non vi fu mai indizio di differenza di grado. Uniti dai nobilissimi intenti loro, con indefesso lavoro, con ingegno vario essi portarono l'Osservatorio di Brera a un alto grado di celebrità.

Morto Reggio nel 1804, continuò l'Osservatorio ad essere illustrato dai lavori di Cesaris e di Oriani, da quelli di quest'ultimo in ispecie, astronomo celebre e uomo insigne, fino al 1832, anno in cui l'uno e l'altro vennero a morire. Nel 1833 assunse la direzione dell'Osservatorio di Brera e la tenne fino al 1862 Francesco Carlini, il quale già dal 1799 apparteneva all'Osservatorio come alunno, e fu astronomo di gran riputazione e di indiscusso valore, di cui si è parlato nella prima Appendice. Nel lungo periodo della sua direzione appartennero per molti anni all'Osservatorio di Brera gli astronomi Carlo Kreil, Roberto Stambuchi, Paolo Trisiani, Giovanni Battista Capelli, Curzio Buzzetti, Ernesto Sergeant-Marceau, e durante il medesimo l'Osservatorio ebbe il suo primo ampliamento.

Nel 1825 fu ordinato al meccanico Starke di Vienna un circolo meridiano con cannocchiale di Reichenbach di mm. 108 di apertura e m. 1.35 di distanza focale. Era per quel tempo uno strumento assai importante, e, non essendovi per esso posto opportuno nell'antico edificio di Boscovich, fu deciso di collocarlo nella torre della antica chiesa di Brera, che sorgeva a pochi metri di distanza. Vi furono fatte le modificazioni ed i restauri necessari, ed in essa, nel 1834, fu collocato il primo circolo meridiano che la Specola acquistasse, il solo che ancor oggi essa abbia.

A Carlini succedette, quale direttore nel 1862, Giovanni Schiaparelli, ricordato già nella prima appendice, posto che egli occupò con plauso sino al 1900; suoi principali collaboratori furono Giovanni Celoria, Michele Rajna, Edoardo Pini, e per qualche anno Guglielmo Tempel e Francesco Porro, passati l'uno ad Arcetri e l'altro a Torino. Sotto la direzione dello Schiaparelli la Specola si ampliò e quasi si trasformò. Due nuovi e grandi strumenti furono per merito suo acquistati: l'uno nel 1862, l'altro nel 1878. Il primo è uno strumento

equatoriale di Merz con cannocchiale di 20 centimetri circa di apertura, e fu collocato in una torre quadrata robusta, a pochi metri e a nord-est della torre meridiana. Il secondo è uno strumento celebre, per il quale il Re ed il Parlamento, essendo Ministro della pubblica istruzione Francesco De Sanctis e relatore del progetto di legge alla Camera dei deputati Quintino Sella, decretarono una somma di 250 mila lire. È uno strumento equatoriale, nella sua parte meccanica eseguito dai Repsold di Amburgo, il cui cannocchiale è di gran lunga il più grande in Italia con mm. 487 di apertura e m. 6.95 di distanza focale, ed uscì dalle mani di Merz. A collocarlo degnamente furono, dell'antico edifizio di Boscovich, abbattute la sala ottagona e le quattro cupolette mobili ad essa addossate, ed al posto loro fu costruita una grande torre cilindrica di m. 12 di diametro esterno e di m. 11 di diametro interno, coperta da una grande cupola mobile a forma di tamburo di ugual diametro. Il peso di questa cupola mobile è di circa 400 quintali; e, ciò malgrado, la si muove con uno sforzo di soli cinque chilogrammi. Ne va data lode a chi diresse il suo impianto, e inoltre alla Ditta Süffert che lo eseguì, adottando per essa il sistema di posa e di trasmissione del movimento ideato da Grubb per la grande cupola del refrattore equatoriale di Vienna.

Nel 1900 il professore Schiaparelli chiese insistentemente, ed ottenne dal Governo, la sua posizione di riposo per ragioni soprattutto di salute, e nel 1° novembre del 1900, fu nominato a succedergli, nella direzione dell'Osservatorio, l'astronomo Giovanni Celoria, professore di Geodesia nell'Istituto tecnico Superiore (Politecnico) di Milano, il quale non ismentisce le tradizioni di sì importante stabilimento scientifico.

Osservatorio astronomico di Padova (1).

L'Osservatorio di Padova, eretto dal 1766 al 1777 per decreto del Senato Veneto, ebbe il suo primo assetto verso la

---

(1) Queste notizie mi sono state fornite direttamente dal venerando professore G. Lorenzoni.

fine del 1779 nella torre costruita nel 1242 per ordine di Ezelino III, per servire di fortezza e di prigione di Stato col collocamento del grande quadrante murale di Ramsdem e con la nomina di un astronomo aggiunto nella persona dell'abate Vincenzo Chiminello (1741-1815), poichè le funzioni di primo astronomo o di astronomo direttore spettavano al professore di Astronomia della Università, che allora era l'abate Giuseppe Toaldo (1719-1797), sotto la cui direzione l' Osservatorio era stato costruito; ma osservazioni astronomiche e meteorologiche si erano però dal Toaldo e dal Chiminello già iniziate nel nuovo Osservatorio fino dal 1776, quando questo non era ancora terminato; su queste osservazioni il Toaldo pubblicò parecchie Memorie. Inoltre nel 1774 pubblicò un trattato sulla sfera, una traduzione delle tavole astronomiche di Lalande ed infine un trattato di trigonometria. Con l'aiuto di suo zio Toaldo il Chiminello, nel 1776 costruì, nella gran sala dell' Osservatorio, uno gnomone di 10 piedi 6 pollici e 4 linee di altezza, con cui negli anni successivi misurò le altezze solstiziali del Sole e determinò la latitudine dell' Osservatorio. Circa la stessa epoca l'Osservatorio ottenne un quadrante mobile di Adams e due cannocchiali mobili; poi nel 1779 fu acquistato un quadrante murale di Ramsdem, che fu posto nella sala principale dell' Osservatorio a lato del grande gnomone. Il Chiminello determinò al quadrante murale le opposizioni dei diversi pianeti e l'obliquità dell'eclittica; nell'agosto del 1797 scoprì una cometa, ecc. Egli tenne la direzione dell' Osservatorio in tempi difficili e burrascosi, poichè era successo al Toaldo in entrambe le cariche nel 1797; e fu suo merito se la Specola, da poco sorta, non fu in quegli anni soppressa; egli seppe difenderla con energia somma, e, per mantenerla in vita, alienò gran parte del suo patrimonio privato.

Nel 1813 successe al Chiminello l'astronomo aggiunto Giovanni Santini (1787-1877), di cui abbiamo già parlato nella prima Appendice. Ritornata la calma politica, il Santini sin dal 1815 potè ottenere dal Governo austriaco un cerchio moltiplicatore di Reichenbach, che egli adoperò per una nuova determina zione della latitudine e vi fece un gran numero di osser-

vazioni. Nel 1837 il Santini ottenne un cerchio meridiano di Starke, che gli servì per le determinazioni necessarie pel suo catalogo stellare, che fu pubblicato nel 1840, e contiene 1677 stelle di 6ma e 7ma grandezza, e nel 1841 fu pubblicato un secondo catalogo di 2248 stelle comprese fra 0° e 10° di declinazione australe; e, nel 1858 a 1860, le posizioni medie di 2696 stelle comprese fra 10° e 12° 30′ di declinazione australe; il quale lavoro fu poi esteso nel 1862, ecc. Durante queste osservazioni (1858) Santini fece nel meridiano di Starke parecchie modificazioni importanti, destinate sia a rendere le sue indicazioni più sicure, sia per aumentare il numero delle stelle che esso permetteva di osservare. Nell'autunno del 1858 Starke si recò a Padova per mettere a posto in cima alla torre maggiore dell' Osservatorio un equatoriale costruito secondo i principî dell' Astronomia moderna; il cannocchiale di questo strumento fu fabbricato da Merz. Durante i primi anni questo eccellente istrumento ha servito ad osservazioni di pianeti o di comete, fatte prima da Trettenero (1822-1863), poi in seguito da Michez e da Lorenzoni, l'odierno direttore dell' Osservatorio. Nel 1854 il personale dell' Osservatorio fu accresciuto di un assistente provvisorio; nel 1863 sostituito con un assistente stabile.

Morto il Santini, nel 1877 fu nominato direttore dell' Osservatorio Giovanni Lorenzoni (nato nel 1843 in Rolle di Cison, Treviso), professore di Astronomia nella Università di Padova.

Nell' Osservatorio di Padova, oltre alle osservazioni correnti per la determinazione dello stato e dell'andamento dei pendoli, si fanno principalmente osservazioni extra-meridiane per determinare le posizioni dei pianeti nuovi e delle comete e osservazioni occasionali di occultazioni, di eclissi, ecc. Si fecero in passato molte osservazioni meridiane di stelle in zona e recentemente si usò il cerchio meridiano per una serie di osservazioni del cratere lunare Moesting. In varî tempi si eseguirono misure di latitudine, di longitudine, di azimut e di gravità in servizio della Geodesia e, fino dall'origine dell' Osservatorio, si fanno in esso pur anco osservazioni meteorologiche quotidiane. Annessa all' Osservatorio è la Scuola di

Astronomia per gli studenti della Facoltà di Scienze dell'Università.

I risultati delle osservazioni e degli studî fatti all' Osservatorio di Padova sono pubblicati negli Atti e nelle Memorie di varie Accademie e Società scientifiche e nelle *Astronomische Nachrichten*. Fra le pubblicazioni sono notevoli i cinque *Cataloghi stellari,* fondati sulle osservazioni meridiane del Santini e su quelle, ancora più numerose e precise, del Trettenero. Alcuni lavori, fra cui sono notevoli per importanza quelli sul pendolo, sono stati eseguiti e pubblicati in tutto od in parte a spese della Commissione geodetica italiana. La dotazione annua assegnata dal Governo all' Osservatorio è di lire 1800, somma assai meschina per gli usi molteplici cui è destinata.

Il prof. Lorenzoni si consacrò in modo speciale all'insegnamento dell'Astronomia, elaborando splendide Memorie di carattere specialmente didattico ed educando una schiera di astronomi, alcuni dei quali oggi occupano, nei nostri Osservatorî, posizioni scientifiche assicurate; anzi è lecito dire che dall'Osservatorio di Padova si ebbe la scuola di Astronomia italiana la più fruttifera.

Osservatorio astronomico di Torino (1).

La fondazione di un Osservatorio astronomico a Torino è stata conseguenza necessaria dei lavori geodetici, eseguiti in Sardegna nel 1759 dal padre Giov. Batt. Beccaria (1716-1781). Queste operazioni geodetiche richiedevano un posto per collocare gli apparecchi stabili, più grandi e più precisi di quelli che si posson portare dietro in una spedizione; e, in difetto di un locale governativo, il padre Beccaria fu costretto di collocare i suoi strumenti sulla cima di una torre, che era sopra la sua abitazione in vicinanza del palazzo Madama; la qual posizione era, d'altra parte, sotto ogni aspetto assai infelice; e prima che questo fisico morisse, gli strumenti furono tra-

---

(1) Alcune notizie mi furono fornite direttamente dal prof. Giovanni Boccardi.

sportati in un fabbricato più solido e di una stabilità soddisfacente, cioè nel palazzo dell'Accademia delle Scienze; ma questo non era stato costruito a scopo di Osservatorio; e perciò era pur esso poco adatto per questa nuova destinazione. Le modificazioni, che furono a tale edifizio apportate, incominciate nel 1790, procederono assai lentamente, e non erano terminate nemmeno nel 1807, quando comparve la grande Cometa di quest'anno, nè nel 1811 (15 marzo), allorchè Giovanni Plana, dietro le raccomandazioni del grande Lagrange, fu nominato professore di Astronomia alla Facoltà delle Scienze di Torino, al posto dell'abate Valperga di Caluso conte Tommaso (1737-1815), professore dottissimo di Astronomia all'Università, che fu per qualche anno pure direttore dell'Osservatorio; nella qual direzione gli era succeduto, prima del Plana, Antonio Maria Vassalli Eandi (1768-1825), professore di Fisica all'Università, la qual direzione egli tenne solo per qualche anno. Del Plana abbiamo già parlato nella prima Appendice. Due anni dopo, cioè nel 1813, il Plana assunse pure la direzione dell'Osservatorio nel palazzo dell'Accademia delle Scienze; in quest'epoca l'Osservatorio possedeva soltanto due cannocchiali di Dollond, lunghi m. 1.20 l'uno, m. 2 l'altro, ed un circolo ripetitore di Fortin di m. 49 di diametro; nè era suscettibile di nuovi ampliamenti. Nel 1814 gli avvenimenti politici ricondussero a Torino Vittorio Emanuele I, protettore degli studî astronomici; e Plana ottenne da lui di trasportare altrove la Specola, di acquistar tosto alcuni strumenti minori, e di ordinare a Reichenbach e Franchofer un circolo meridiano fra i più grandi del tempo, con cannocchiale largo mm. 109, lungo m. 1.62, un circolo moltiplicatore di cm. 49 di diametro, un piccolo strumento equatoriale, di cui il cannocchiale avesse cm. 12 di apertura e cm. 82 di distanza focale principale.

L'Osservatorio, ad onta dell'avviso contrario del barone Zach, fu trasportato al palazzo Madama, sulla torre più occidentale delle due, che limitano la facciata, torre robusta, facilmente accessibile, alta m. 37,70 sul suolo; gli strumenti furono collocati sulla terrazza, di cui si rinforzò la vôlta e sulla quale furono fabbricati opportuni edifizî. Tutto fu ulti-

mato ed in assetto nel 1822; e Plana dal 1822 al 1825 fece nella nuova Specola osservazioni pubblicate nel 1828 a Torino. Egli fu però dal suo genio analitico portato ben presto ad illustrare il proprio nome con ricerche rimaste storiche, sulla teoria dei movimenti della Luna; ne venne danno grave all'Osservatorio ed all'Astronomia pratica, tanto più che egli non amò mai farsi sostituire da altri in quelle osservazioni, che pur trascurava.

Nel 1864 morto Plana, fu nel 1865 chiamato a dirigere la Specola di Torino il prof. Alessandro Dorna (1825-1865); ed egli indirizzò ogni suo sforzo a migliorarne i locali, gli strumenti, il personale. Nel 1875 riuscì a costruire una vasta cupola girante, nel 1876 a porre a posto uno strumento equatoriale con cannocchiale di Merz di mm. 117 d'apertura, ottenne che fosse istituito un posto di astronomo aggiunto, in cui chiamò, nel 1885, da Milano l'astronomo Francesco Porro (nato nel 1861).

Il Dorna morì nel 1886, e fu sostituito dal Porro, il quale con opportunissimo e moderno concetto, piuttosto che trasformare l'Osservatorio di palazzo Madama, poco suscettibile di essere rinnovato, ricorse a stazioni succursali e ne stabilì due: l'una sul colle di Superga, l'altra a Pino Torinese.

Nel 1900 il Porro passò all'Università di Genova, ed ora lo sostituisce nella direzione dell'Osservatorio il professore Giovanni Boccardi (nato nel 1859).

Elenco degli strumenti principali:

1° *Un equatoriale di Merz,* dell'apertura libera di 30 cm. e della distanza focale di m. 4.45, con montatura di Cavignato (acquistato nel 1884);

2° *Un equatoriale cercatore* di Steinheil, dell'apertura di sei pollici e della distanza focale di metri 1.30 (acquistato nel 1892);

3° *Un circolo meridiano* di Reichenbach (acquistato nel 1820);

4° *Uno strumento dei passaggi trasportabile* di Repsold (acquistato nel 1889);

5° *Vari cannocchiali minori ed un sestante*;

6° *Un comparatore di livelle*;

7° *Un pendolo sidereo* di Cavignato, con compensazione a mercurio ed interruttore elettrico (acquistato nel 1904);

8° *Un pendolo sidereo* Dent, a compensazione;

9° *Un pendolo a tempo medio* Martini, a compensazione;

10° *Un pendolo a tempo medio* Milani, a compensazione;

11° *Cronometri di marina* (Nardin, Weichert, Hown, Kohlschütter);

12° *Un cronografo a penna* di Hipp;

13° *Un cronografo a secco* di Cavignato;

14° Strumenti meteorologici e registratori, e cioè: un sismometrografo Agamennone, due piccoli sismografi (Brassart, Agamennone).

La Biblioteca dell'Osservatorio si compone di circa 6000 tra volumi ed opuscoli.

Lavori eseguiti in questo Osservatorio:

Nel secolo XVIII l'Osservatorio ha eseguita la misura dell'arco di meridiano tra Mondovì ed Andrate, pubblicandone i risultati nell'opera del padre Beccaria: *Gradus Taurinensi*. Tra il 1823 ed il 1827 partecipò attivamente alle operazioni geodetiche ed astronomiche per la misura di un arco di parallelo medio. Nel 1824, come si è detto, il Plana trasportò l'Osservatorio dal palazzo dell'Accademia delle scienze al palazzo Madama, ove ha sede attualmente; l'ubicazione nel centro della città, ove fanno capo tutte le linee tramviarie a vapore e ad elettricità, più che il cielo quasi sempre coperto da nebbia, è poco favorevole alle osservazioni celesti. Finchè non sarà possibile impiantare una succursale su qualche collina a parecchi chilometri dalla città, l'Osservatorio di palazzo Madama non potrà che conservare il suo carattere di Specola universitaria, destinata principalmente all'insegnamento, a lavori teorici e di calcolo; cosa che già comprese il Plana, il quale, dopo poche osservazioni, si dedicò quasi esclusivamente a ricerche teoriche, frutto precipuo delle quali fu (1852) la sua *Théorie du mouvement de la Lune*.

Opera principale del Dorna è stato un *Atlante di Carte celesti*, destinato principalmente a facilitare le osservazioni

di stelle cadenti. Durante la direzione del Porro furono da lui eseguite diverse nuove determinazioni di longitudine, latitudine ed azimut, e si fecero osservazioni di comete, di eclissi e di stelle variabili. Gli assistenti del Porro eseguirono numerose osservazioni dei passaggi del lembo della Luna e del cratere Mösting; portarono un largo contributo alle pubblicazioni di Meteorologia dell'Osservatorio di Torino. Un lavoro di lunga lena fu intrapreso dal Porro, cioè una nuova riduzione delle osservazioni stellari del Piazzi. Di questo lavoro, piuttosto personale del Porro, l'Osservatorio di Torino non potè più occuparsi dopo la sua partenza nelle 1900. Dagli astronomi aggiunti furon pubblicate fino al 1904 *Effemeridi* del Sole, della Luna e dei pianeti principali pel meridiano di Torino. Con la nuova direzione queste Effemeridi furono aumentate di numerose Memorie intorno alle orbite dei pianetini, delle posizioni apparenti di numerose stelle anche circumpolari, non date da altri Almanacchi, e delle Effemeridi di ricerca per quindici asteroidi.

Osservatorio astronomico di Firenze in Arcetri (1).

L'Osservatorio astronomico di Firenze è posto nell'angolo nord-est dell'edifizio, in cui sono riunite le collezioni del Museo di Fisica e Storia naturale, ed occupò, coi suoi successivi ingrandimenti il piano superiore di un solido ed abbastanza vasto fabbricato rettangolare, nonchè la parte più alta di una torre quadrata attigua. Esso dapprima fu affidato ad uomini di certo valore; ma essi erano fisici piuttosto che astronomi, onde durò molta fatica ad avviarsi. I suoi primi strumenti, tra i quali uno strumento dei passaggi ed un settore zenitale, muniti entrambi di cannocchiali presso che

(1) Vedi *Osservatorio astronomico di Arcetri.* Appunti storici ed illustrazioni di A. Abetti. Firenze 1901. Vedi *Annuario per l'anno accademico 1901-1902* del R. Istituto di Studî superiori di Firenze. Vedi i fascicoli dall'1 al 17 delle pubblicazioni del R. Osservatorio di Arcetri.

eguali, ordinati ambedue a Sisson di Londra nel 1779, furono messi a posto nel 1784 dall'astronomo Slop (1740-1808) dell'Università di Pisa, ma rimasero inoperosi fino al 1807, quando alla direzione della Specola fu chiamato il professore di Astronomia del Museo Domenico De-Vecchi (morto nel luglio 1829). Nel 1824 fu aggiunto ad essi un circolo moltiplicatore di grandi dimensioni, costruito da Reichenbach a Monaco, nel 1854 uno strumento equatoriale con cannocchiale di 28 cm. di diametro e m. 5.20 di distanza focale, nel 1857 uno spettroscopio a visione diretta, il primo che siasi costruito.

Morto il De-Vecchi gli successe per poco il francese Luigi Pons (1761-1831), resosi celebre scopritore ed osservatore di comete a Marsiglia, e poscia nel novembre 1831 gli successe il modenese G. B. Amici (1786-1863), chiamato dal Granduca Leopoldo II. Egli, fisico ed ottico teorico e pratico, acquistò rinomanza nell'Astronomia e nella Geodesia principalmente per i suoi obbiettivi ed oculari, come l'acquistò del pari nella Fisica, nella Botanica e nella Medicina coi suoi microscopi. Si può dire che l'Amici riprendesse in Firenze le tradizioni di Meccanica ottica di Galileo, e dei suoi discepoli. Celebri furono i suoi micrometri a separazione di immagini, uno dei quali donò anche al Santini di Padova, che l'adoperò nelle sue ben note ricerche sulla massa di Giove; ammirabile fu il suo obiettivo di 284 mm., uno dei più grandi che allora fossero in possesso degli astronomi; lo usò il Donati, poi il Tempel, ed ora tornò utilmente e facilmente operoso mediante nuova e propria montatura.

All'Amici vivente, emerito, successe, alla fine del 1859, G. B. Donati (1826-1873), di cui si è già parlato nell'Appendice prima, allievo del celebre Mossotti ed aiuto dell'Amici fino dal 1854. Già l'Osservatorio astronomico del Museo era salito in alta rinomanza per gli aumenti successivi della sua supellettile istrumentale, per le felici invenzioni in fatto di ottica astronomica, quali il micrometro oculare, il cannocchiale iconanditico, il prisma a visione diretta, che in esso fece l'Amici, per le scoperte di comete in quello fatte fra il 1854 ed il 1864 dal Donati, per le importanti osservazioni

dallo stesso Donati fatte nel 1860 negli spettri stellari. Ma, ad onta di tutto ciò, il Donati non era soddisfatto appieno del suo Osservatorio per molteplici ragioni: la vicinanza immediata di una delle vie più frequentate, l'altezza soverchia a cui erano collocati gli strumenti, gli alti alberi del vicino giardino di Boboli, l'atmosfera di Firenze troppo illuminata durante la notte, eran tutte cose che gli davano fastidio. Inoltre egli, allievo del celebre Mossotti, vagheggiava una Specola, nella quale fossero possibili osservazioni astronomiche fondamentali, determinazioni rigorose ed assolute delle posizioni degli astri nello spazio, e si lamentava che tanto la Specola di Firenze, quanto le altre d'Italia, fossero insufficienti al nobile e delicato ufficio, cui eran destinate.

Con l'ausilio della somma versatilità del suo ingegno, col prestigio della sua fama, acquistatasi con la scoperta della cometa del 1858-59, egli potè ottenere, mercè l'aiuto dei diversi enti morali, di trasportare il suo Osservatorio astronomico dal Museo ad Arcetri, su quella collina stessa su cui Galileo passò gli ultimi anni della sua vita agitata ed operosa: per la fondazione di esso diede un forte sussidio il Municipio di Firenze (9 luglio 1866), il Consiglio provinciale (27 novembre 1866); il Governo (26 novembre 1871) assegnò lire 106,000, che furono portate a lire 136,000; e precisamente con decreto sovrano del 23 settembre 1869 fu stabilito di innalzare detto Osservatorio. Il Donati si pose all'opera con attività febbrile: nel settembre del 1869 vide gettar le fondamenta dell'edifizio da lui ideato, e nell'ottobre del 1872 riuscì ad inaugurarlo con qualche solennità. L'arredamento lasciava alquanto a desiderare, poichè mancava il circolo meridiano, a cui il Donati teneva assai: erano a posto solo un piccolo equatoriale con cannocchiale di Fraunhofer, il grande cannocchiale di Amici, affidato ad una montatura equatoriale non munita per anco di cerchi graduati, ma ricca di preziosi accessorî per osservazioni di fisica celeste, fra i quali uno spettroscopio con 25 prismi. Disgraziatamente il Donati doveva lasciare incompleta l'opera più importante della sua vita, e nel settembre 1873 spirava in Sutri, vittima del colera, che egli aveva preso a Vienna.

L'edificio ideato dal Donati per colpa di chi ne aveva assunto la costruzione, e principalmente per le infiltrazioni delle piogge, abbisognò tosto di modificazioni importanti e di riparazioni. Delle prime si occupò, a partire dal 1878 fino al 1892, per incarico dell'Istituto di studî superiori di Firenze l'astronomo della Specola di Brera Giovanni Celoria, coadiuvato dall'architetto fiorentino Cesare Fortini, mentre un altro astronomo della stessa Specola di Milano, Guglielmo Tempel (1828-1889), ben noto per le sue numerose scoperte di comete, veniva, sulla fine del 1874, dietro proposta del prof. Schiaparelli, chiamato ad Arcetri a dirigervi quell'Osservatorio. Morto nel 1889 il Tempel, condotte a compimento le modificazioni ed il restauro dell'edifizio, venne chiamato nel 1894 da Padova a dirigere il nuovo Osservatorio l'astronomo Antonio Abetti, il quale, con mano vigorosa, riparati e messi a posto gli strumenti, che già vi esistevano, iniziò tosto osservazioni importanti, e per la sala meridiana, in attesa del grande strumento pel quale essa fu ideata e ristaurata, acquistò un piccolo e notevolissimo strumento di nuova costruzione. Chi desiderasse ulteriori particolari sulla suppellettile scientifica dell'Osservatorio astronomico di Arcetri e sulle osservazioni compiutevi dal Direttore attuale e dai suoi assistenti, consulti i fascicoli delle pubblicazioni fatte a cura del R. Istituto di Studi superiori, pratici e di perfezionamento di Firenze, Sezione di Scienze fisiche e naturali, R. Osservatorio di Arcetri:

Fasc. I. *L'equatoriale di Arcetri*. Notizie di A. Abetti, 1896.

Fasc. II. *Il Micrometro doppio dell'equatoriale*. Notizie di A. Abetti, 1896.

Fasc. III. *Osservazioni di asteroidi* fatte ad Arcetri nel 1895 da A. Abetti, 1896.

Fasc. IV. *Tavole di Riduzione delle osservazioni all'equatoriale*, calcolate da A. Abetti, 1896.

Fasc. V. *L'asteroide (345) Tercidina*. Relazione sugli elementi ottenuti per la N opposizione da R. Viaro, 1897.

Fasc. VI. *Osservazioni astronomiche* fatte all'equatoriale di Arcetri nel 1896 da A. Abetti ed Appendice, 1877.

Fasc. VII. *Il piccolo meridiano di Arcetri*. Primi studî di A. Abetti ed Appendice, 1898.

Fasc. VIII. *Posizioni di 21 stelle fra la 5ª e la 7ª grandezza,* determinate per differenza al cerchio meridiano di Padova da A. Antoniazzi e B. Viaro, 1898.

Fasc. IX. *Osservazioni astronomiche,* fatte all'equatoriale di Arcetri nel 1897 da A. Abetti, 1898.

Fasc. X. *Osservazioni astronomiche,* fatte all'equatoriale di Arcetri nel 1898 da A. Abetti ed Appendice, 1899.

Fasc. XI. *Osservazioni astronomiche,* fatte al piccolo meridiano di Arcetri da B. Viaro, 1899.

Fasc. XII. *Osservazioni astronomiche,* fatte all'equatoriale di Arcetri da A. Abetti, 1900.

Fasc. XIII. *Osservazioni astronomiche,* fatte al piccolo meridiano di Arcetri da B. Viaro, 1900.

Fasc. XIV. *Sulla latitudine di Arcetri*. Esperimenti di B. Viaro, 1900.

Fasc. XV. *Osservazioni astronomiche,* fatte all'equatoriale di Arcetri nel 1900 da A. Abetti ed Appendice, 1901.

Fasc. XVI. *Osservazioni astronomiche fatte all'equatoriale di Arcetri* nel 1901 da A. Abetti ed *Alcune osservazioni al piccolo meridiano,* dell'astronomo aggiunto B. Viaro, 1902.

Fasc. XVII. *Osservazioni astronomiche,* fatte all'equatoriale di Arcetri nel 1902 da A. Abetti ed *Alcune osservazioni* dell'astronomo aggiunto B. Viaro, 1903.

Gli Osservatorî astronomici di Roma.

Roma, città privilegiata per clima, per trasparenza di atmosfera, per limpidità di cielo, non mancò mai in verità di astronomi; ma ben tardi ebbe una vera Specola astronomica. Gli studiosi e maestri suoi di Astronomia, da Clavio (1572) a Audiffredi (1777), usarono scegliere qualche luogo elevato per farvi, con strumenti proprî o forniti da ricchi mecenati, osservazioni celesti anche preziose; in tal modo osservazioni astronomiche furono in tempi diversi eseguite al Collegio Romano, al Vaticano, alla Trinità dei Monti, alla Minerva,

al Gesù, senza però che in nessuno di detti luoghi esistesse un Osservatorio astronomico propriamente detto.

Risale al secolo XVI la Torre dei Venti, che Gregorio XIII fece erigere a scopo di osservazioni celesti in Vaticano, là dove il cortile del Belvedere è diviso da quello della Pigna. La storica torre ergesi a 73 m. sul livello del mare; in essa il celebre frate domenicano e cosmografo Ignazio Danti (1377-1386) costrusse una meridiana, della quale ancor oggi conservasi traccia; in essa monsignor Filippo Luigi Gilii, uomo di vasto e versatile ingegno, astronomo, meteorologo, studioso di scienze naturali, riuscì nel 1789 a collocare strumenti destinati in parte a ricerche astronomiche e precipuamente a studi di Fisica terrestre e di Meteorologia; ma i lunghi abbandoni in cui fu lasciata la monumentale torre fra il 1644 ed il 1789, fra il 1821 ed il 1889 fecero sì, che essa non potè divenire il nucleo di una vera e propria Specola Vaticana.

Nel 1775 Francesco Caetani, Duca di Sermoneta, con iniziativa, che nel secolo nostro doveva trovare tanti imitatori, specialmente in Inghilterra ed in America, fece costruire nel palazzo alle Botteghe Oscure un vero e proprio Osservatorio, il primo che sorgesse in Roma.

Già nel 1777 la Specola privata Caetani era ultimata, e consisteva « in una loggia con stanza annessa superiore a tutti li tetti ed a livello de' giardini della villa Medici ». Sotto la direzione dell' Audiffredi, e successivamente per opera dell'abate Luigi De Caesaris, dell'abate Eusebio Veiga, del frate carmelitano Atanasio Cavalli, essa salì presto in qualche fama; ma non fiorì a lungo; e già, prima che il secolo XVIII finisse, era in decadenza.

I. — Osservatorio del Collegio Romano.

Nel 1785 il cardinale Zelada, memore di quanto Benedetto XIV già aveva ordinato al Borgondio (1679-1741), si adoperò, perchè un vero Osservatorio astronomico venisse stabilito nel Collegio Romano, e fu per sua iniziativa e col concorso di Pio VI, che nel 1787 l'astronomo abate Giuseppe Calandrelli di Zagarolo (1749-1827) incominciò ad eri-

gere sull'angolo orientale della facciata del Collegio quella torre quadrata, che doveva essere il nucleo della Specola detta del Collegio Romano, e per lunghi anni doveva anzi da sola costituire l'intero Osservatorio.

Da principio G. Calandrelli non ebbe nella nuova Specola a sua disposizione che pochi e piccoli strumenti acquistati in gran parte dallo stesso cardinale Zelada; ma nel 1804 Pio VII gli concesse nuovi mezzi e strumenti diversi, fra cui un cannocchiale dei passaggi di m. 1.17 di distanza focale, costrutto a Monaco da Reichenbach, e dal Calandrelli collocato in apposita sala meridiana, fabbricata a levante della torre nucleare dell'Osservatorio. Con questi strumenti Giuseppe Calandrelli, coadiuvato dagli astronomi abate Andrea Conti e canonico Giuseppe Reichenbach, seppe infondere alla Specola, di cui era il fondatore e ne fu il primo direttore, vita assai rigogliosa, che, per opera sua e dei colleghi, durò però soltanto fino al 1824, nel quale anno i tre astronomi dovettero abbandonare il Collegio Romano e con esso l'Astronomia di osservazione, poichè Leone XII volle restituire il Collegio ai gesuiti; il Calandrelli si ridusse, con parte degli strumenti di sua proprietà, al convento di Santa Apollinare, dove questi morì nel 1827; il Conti ed il Reichenbach si ritrassero a vita privata, in cui durarono, il primo fino al 1840, il secondo fino al 1841.

Così il Collegio Romano e l'Osservatorio divennero in quell'anno stesso (1824) proprietà dei padri gesuiti, e a direttore della Specola fu tosto chiamato il padre Stefano Dumouchel (1773-1840) di Montfort-Lamoury, a cui nel 1838 succedette il padre Francesco De Vico (1805-1848) di Macerata. Dumouchel già nel 1825 riuscì a dotare la Specola a lui affidata di alcuni strumenti, fra i quali uno strumento equatoriale di Cauchoix, che venne collocato alla sommità della gran torre. De Vico ottenne per essa nel 1841 un circolo meridiano di Ertel con cannocchiale di mm. 89 di apertura, di m. 1.25 di lunghezza focale, che egli si affrettò a collocare nella stanza meridiana fino allora occupata dallo strumento dei passaggi di Reichenbach.

De Vico fu astronomo operosissimo, e sotto la sua dire-

zione, per opera anche dei collaboratori suoi Padri gesuiti N. Della Rovere, B. Gambara, C. Sestini, l'Osservatorio del Collegio Romano salì in molta e ben meritata rinomanza. Egli pure dovette però nel 1848 abbandonare coi colleghi l'Osservatorio e Roma, prendendo la via dell'esilio per Londra, dove nell'anno stesso morì.

Non tardarono di molto i gesuiti a rientrare nell'abbandonato Osservatorio, ed allora ne assunse la direzione (1849) il padre Angelo Secchi (1818-1878), di cui si è già parlato nella prima Appendice, divenuto ben presto astronomo fra i più celebri. Tosto egli seppe ottenere dal padre Paolo Rosa De-Conti il cospicuo dono di un potente equatoriale di Merz con cannocchiale di mm. 244 di apertura e m. 4,328 di lunghezza focale; non meno presto egli riuscì coi mezzi somministratigli dall'Ordine e da ricchi colleghi, con l'aiuto efficacissimo di Pio IX, a trasportare l'Osservatorio sul braccio orientale della chiesa di S. Ignazio, attuando così un antico progetto dell'illustre Boscovich, e costruendo le sale di studio sulle mura laterali, quelle degli strumenti sui robusti pilastri della cupola della chiesa.

La nuova sede dell'Osservatorio già nell'ottobre del 1853 era terminata, ed in essa quasi contemporaneamente furono stabilmente messi a posto i vecchi ed i nuovi strumenti, ai quali si aggiunse tosto un secondo e piccolo equatoriale, formato utilizzando il vecchio cannocchiale meridiano di Reichenbach, e nel 1862 uno spettroscopio di Hoffmann. Fra questi strumenti, Secchi, osservatore instancabile, coadiuvato dallo stesso padre Rosa e dal padre Stanislao Ferrari, passò applaudito ed ammirato l'operosa sua vita, immaturamente troncata nel 1878.

Creato, nel 1879, l'Ufficio Centrale di Meteorologia, il Governo nazionale aggregò a quello l'Osservatorio astrononomico; l'ingegnere Pietro Tacchini, che era primo astronomo a Palermo, fu chiamato a Roma a dirigere l'Ufficio suddetto. Egli volle seco, in qualità d'astronomo, il prof. Elia Millosevich, alle cui cure devesi quasi tutta l'Astronomia di posizione, fatta all'Osservatorio nell'ultimo quarto di secolo. Fortunatamente nel 1891 l'Osservatorio riconquistò la sua indi-

pendenza, e Tacchini tenne la direzione tanto dell' Ufficio Centrale di Meteorologia, quanto dell'Osservatorio. Nel breve periodo d'un triennio collaborò col professor Millosevich il dott. Domenico Peyra, morto a 27 anni e commemorato nelle *Astronomische Nachrichten* dall' illustre G. V. Schiaparelli. Il materiale scientifico sotto la direzione di Tacchini ebbe radicali e benefiche trasformazioni. All'equatoriale di Merz fu sostituito l'equatoriale di Steinheil-Cavignato con cannocchiale di apertura libera di cm. 38, l'oggettivo essendo stato offerto in dono dal mecenate Santoro di Messina, residente a Costantinopoli. Al vecchio e piccolo cerchio meridiano di Ertel fu sostituito un grande circolo meridiano di 20 cm. d'apertura di Salmoiraghi; venne mutata la montatura dell'equatoriale di Cauchoix e creata una nuova stanza meridiana con entro il " zenit telescop ,, di Salmoiraghi. Ritiratosi a vita privata Tacchini (1838-1905), successe nella direzione dell'Osservatorio il prof. Elia Millosevich (Venezia, 1848), il quale fornì l'Osservatorio d'un nuovo pendolo Cavignato, d'un cronometro Frodsham, d'una galleria di fotografie astronomiche, e rifornì con grande amore la Biblioteca astronomica dell'Osservatorio. Aiutato da giovani forze, fra cui degno di speciale menzione il dott. Emilio Bianchi, continua a mantenere in Italia e all'estero l'Osservatorio nella riputazione e nella fama, che il grande suo fondatore, Angelo Secchi, gli aveva procurate.

II. — **Osservatorio del Campidoglio.**

Verso il 1827 il prof. Feliciano Scalpellini (1762-1840), avendo ottenuto di abitare il palazzo del Campidoglio e di trasportarvi i suoi strumenti di Fisica e di Astronomia, collocò questi ultimi, un quadrante murale di circa un metro di raggio, un circolo ripetitore di Reichenbach di cm. 33 di diametro, una macchina parallatica con cannocchiale di 6 cm. di apertura, in una camera da lui appositamente fabbricata sulla terrazza della torre occidentale del Campidoglio. Questa Specola embrionale, molto frequentata da studiosi e da dilettanti, chiamata da principio Specola Scalpellini, era destinata a tras-

formarsi più tardi in un proprio e vero Osservatorio dello Stato.

Fu Pio IX nel 1848 a volere che sulla robusta torre del Campidoglio occupata dallo Scalpellini, alta m. 37.81 sul suolo, con alla sommità una terrazza quadrata di m. 11 di lato, sorgesse questo nuovo Osservatorio; e, chiamato da Bologna l'abate Ignazio Calandrelli (1792-1866), gliene affidò l'incarico, somministrandogli ad un tempo i mezzi necessari.

Così sorse il pontificio Nuovo Osservatorio della Università Romana, ora detto Osservatorio Reale del Campidoglio, con un circolo meridiano di Ertel, di cui il cannocchiale ha mm. 94 di apertura e m. 1.32 di lunghezza focale, con uno strumento equatoriale di Merz munito di cannocchiale del diametro di mm. 122, con un cannocchiale zenitale di Ertel di apertura mm. 108, lungo m. 1.582. Lo diresse dal 1848 al 1866 il costruttore suo, Ignazio Calandrelli; dal 1866 al 1889 l'illustre e compianto prof. Lorenzo Respighi (1824-1889), di cui si è parlato nella prima Appendice; lo dirige dal 1890 il professor Alfonso Di-Legge, coadiuvato dagli astronomi F. Giacomelli ed abate A. Prosperi. È uno degli Osservatorî italiani più favorevolmente noti, illustrato dagli importanti lavori in esso compiuti dagli astronomi, che successivamente vi furono addetti.

III. — Osservatorio del Vaticano.

Nel 1888 il papa Leone XIII decretò che si riprendessero nell'antica e celebre Torre Gregoriana (Torre dei Venti) nuovi studî e nuove ricerche di Astronomia, di Meteorologia, di Fisica terrestre, ed affidò al padre Denza la direzione dei necessarî lavori di costruzione e di adattamento; ma la fondazione di questa Specola data dal secolo XVI. Questi lavori continuarono nel 1889, ed il padre Francesco Denza (1834-1894), persuaso, come già aveva detto Giuseppe Calandrelli, che la Torre dei Venti era troppo vicina alla cupola di San Pietro e troppo circondata da fabbricati, ottenne che si potesse occupare, per le volute ricerche, la grande Torre, la quale si trova sulla vetta del colle Vaticano sulle mura che

chiudono il giardino, e la quale, per la sua vastità, robustezza e posizione, si prestava egregiamente a ricevere, oltre agli strumenti di Fisica terrestre, anche gli astronomici. Questa torre, detta Leonina, dista oltre 400 metri dall'altra torre Gregoriana, e le due torri insieme unite vennero a costituire la Specola Vaticana con felice intuito destinata, per quel che riguarda l'Astronomia, a lavori specialmente di fotografia celeste. Suo strumento principale è un equatoriale con due cannocchiali, l'uno fotografico di cm. 33 di apertura e m. 3.43 di distanza focale, l'altro collimatore largo 20 cm., lungo m. 3.60; suo direttore fu, fino all'anno di sua morte (dicembre 1894), il padre Denza; ed egli, in pochi anni, seppe, coadiuvato specialmente dal padre Giuseppe Lais, vicedirettore, e dall'ingegnere Federico Mannucci, dare alle ricerche della risorta Specola Vaticana un indirizzo giusto e sicuro, un impulso vigoroso, che a lui sopravvivono perpetuandone l'onorata memoria; a successor suo da poco venne chiamato il padre agostiniano Angelo Rodriguez de Preda.

Il lavoro principale della Specola Vaticana è la *Carta del Cielo* e *Catalogo delle Stelle,* in collaborazione con altri diciassette Osservatorî.

Ecco l'elenco esatto della suppellettile scientifica:

Principali istrumenti per la Meteorologia.

La collezione completa degli istrumenti registratori di Richard.

Un' altra collezione di osservazione diretta. — Barometri, termometri, ecc.

Per l'Astronomia.

Nella Torre Gregoriana:

Equatoriale di Merz, obiettivo mm. 102.

Cannocchiale di Merz, mm. 106.

Meridiano Storcke, mm. 80.

Altri cannocchiali piccoli.

Diversi cronometri, in numero di sei.

Istrumento Gautier, per le misure delle lastre fotografiche.

Un eliografo, per la fotografia solare.

Nella Torre Leonina:

Cannocchiale fotografico per la Carta del Cielo e Catalogo delle Stelle.

Parecchi istrumenti geodinamici.

IV. — **Osservatorio del Gianicolo.**

Verso il 1880 il padre Stanislao Ferrari, professore di Astronomia e collaboratore del padre Secchi al Collegio Romano, eresse dalle fondamenta a proprie spese sul Gianicolo uno dei pochissimi Osservatorî privati che possegga l'Italia, e lo fornì di strumenti pregiati, fra cui è particolarmente notevole un equatoriale di Merz con cannocchiale di mm. 108 di apertura; la nuova Specola è costituita con criterî affatto moderni ed inappuntabili, ed il suo fondatore già seppe illustrarla con lavori importanti e renderla favorevolmente nota agli astronomi sotto il nome di Osservatorio del padre S. Ferrari sul Gianicolo.

Gli Osservatorî astronomici di Sicilia.

I Siciliani portano giustamente il vanto di essere stati, fra i popoli italiani, i primi a coltivare l'Astronomia. Empedocle, che scrisse un'opera sulla sfera e un voluminoso Trattato sulla inclinazione dell'asse della Terra, era di Girgenti. Inoltre abbiamo: Francesco Maurolico (1494-1575), professore di Matematica a Messina, che ci ha lasciato una Cosmografia; Antonio Giusso (verso il 1580), che ha trattato delle eclissi; Scipione di Lorenzo (verso il 1600); Gaspare Catalano (verso il 1607), del quale abbiamo delle osservazioni della grande cometa del 1607; Battista Hodierna (1597-1660), che propagò in Sicilia le scoperte di Galileo e pubblicò le prime Tavole dei satelliti di Giove (*Menelogiae Jovis compendium sive Ephemerides Medicaeorum, nunquam hactenus apud mortales editae...* Palermo 1656); Pietro Emanuele (morto nel 1669) che si occupò della determinazione delle longitudini in mare; infine ricorderemo Leonardo Xi-

menes (1717-1786), il quale ha lasciato molte osservazioni dei solstizî.

Questi astronomi però non avevano nessuno stabilimento fisso sotto quel bel cielo, la cui trasparenza non ha l'eguale in Europa.

L'Osservatorio di Palermo.

Nel 1770 Giuseppe Piazzi, di cui si è discorso nella prima Appendice, ottenne, mediante la protezione del padre Jacquier, la cattedra di *Calcolo sublime* nell'Accademia di Palermo. Alcuni anni dopo, Ferdinando di Borbone avendo fondato in Palermo una Scuola di marina ed una cattedra di Astronomia, il principe di Caramanico, vicerè di Sicilia, designò Piazzi per quest'ultimo posto; ma una cattedra di Astronomia richiedeva un Osservatorio, la cui creazione fu perciò decretata nel 1786; ed il Piazzi dovè partire da Palermo nel settembre 1787 per recarsi a fare acquisto degli strumenti indispensabili, per visitare i principali Osservatorî di Europa e per rendersi famigliari i processi dell'Astronomia pratica, a cui era iniziato assai imperfettamente. Si recò prima a Parigi da Lalande, che dirigeva l'Osservatorio del Collegio di Francia, ed ivi per un anno e mezzo prese parte a tutte le osservazioni; poi si recò a Greenwich, ove fu ricevuto da Moskelyne, e vi osservò l'eclissi di Sole del 1788, fenomeno che fu oggetto di una sua Memoria, presentata alla Società Reale di Londra. A Londra ebbe occasione di far amicizia con Ramsden, a cui poi commise parecchi strumenti.

Piazzi tornò a Palermo nel 1787, e sua prima cura fu di trovare un posto adatto per costruirvi l'Osservatorio. Dopo aver superato molti ostacoli potè ottenere (1° luglio 1790) che esso fosse costruito nel Palazzo Reale e precisamente nella torre rettangolare di esso, detta di Santa Ninfa, di costruzione araba e di grande solidità, e la più elevata che vi fosse in Palermo; ed infatti le costruzioni incominciate nel luglio 1790 terminarono nel febbraio 1791.

Fin dalla fondazione ebbe i seguenti apparecchi:

1° Un circolo di Ramsden (strumento del genere degli altazimut);

2° Un cannocchiale dei passaggi dello stesso artefice;

3° Tre pendoli astronomici a secondi, uno di Mudge e Dutton, un altro di Cumming e Grant, ed il terzo di Jauvier;

4° Due barometri di Ramsden e vari termometri;

5° Più tardi si arricchì, nel 1805, di un piccolo equatoriale di Troungthon, nel cui acquisto il Piazzi volle fosse convertito il prezzo della medaglia d'oro decretatagli dal re Ferdinando IV per la scoperta di Cerere;

6° Nel 1851 fu decretato l'acquisto di un circolo meridiano di 12 centimetri di apertura e di un equatoriale di 26 centimetri di apertura. Il circolo meridiano, costruito a Berlino da Pistor e Martins, fu montato nel 1859, sostituendolo al cannocchiale dei passaggi di Ramsden; l'equatoriale, costruito a Monaco da Merz, fu consegnato nel 1859, e, benchè fin d'allora tutto fosse pronto nella torre, dove doveva essere collocato, tuttavia non fu messo a posto che nel 1865;

7° Fra gli apparecchi acquistati dal 1860 al 1890 i più degni di nota sono:

a) Un pendolo a secondi cronografico, di Frodsham;

b) Un cronometro a mezzi secondi, di Whiffin;

c) Un altro cronometro simile, di Gregor;

d) Un cronografo a cilindro, di Hipp;

e) Un cronografo a secco, di Cavignato;

8° Nel 1894, coi fondi del Consorzio universitario, fu acquistato uno strumento dei passaggi portatile di Salmoiraghi, il quale occupò il posto tenuto dall'equatoriale di Troughton;

9° Nell'ultimo quinquennio, 1899-1903, anche sui fondi del Consorzio, l'Osservatorio si arricchì:

a) di un cannocchiale zenitale, di Wauschoff, il quale è stato temporaneamente montato al posto del circolo di Ramsden;

b) di un altro pendolo astronomico a secondi, di Frodsham;

c) di due cannocchiali collimatori orizzontali, di Moreno, aggiunti come accessorî al circolo meridiano;

d) fu pure comperato un altro cronometro a mezzi secondi di Barrand.

Nel 1878 la sezione meteorologica venne trasferita in una apposita stazione nel giardino della Società di acclimatazione a Valverde.

Nel 1871 successe a Piazzi, nella direzione dell' Osservatorio astronomico, Nicola Cacciatore (1780-1841), allievo del Piazzi fino dal 1799; egli subito incominciò la determinazione della rifrazione, e continuò le osservazioni, incominciate dal suo predecessore, degli equinozî e dei pianeti in opposizione. Mentre egli era intento a questi lavori, scoppiò (1820) la rivoluzione; il Palazzo Reale e l'Osservatorio furono invasi dalla plebe; le carte in parte bruciate e disperse, e con pericolo della vita, dopo essere stato anche trascinato in carcere, a stento potè salvare l'Osservatorio da completa ruina. Intanto Piazzi era a Napoli per l'impianto dell' Osservatorio di Capodimonte. Questo fatto fu un tremendo colpo per la prosperità dell' Osservatorio di Palermo, il quale non riprese che qualche attività nel 1822, dopo un soggiorno di Piazzi a Palermo. Il Cacciatore fece e pubblicò importanti osservazioni sul Sole, sui movimenti proprii di 173 stelle studiate da Bradley, da Piazzi e da lui stesso, ed infine una serie di posizioni delle comete del 1821, 1822, 1825 (cometa di Encke) e della grande cometa del 1825. Poi riprese l'osservazione delle stelle del Catalogo di Piazzi, e si applicò a certe ricerche speciali, fra cui dobbiamo citare la determinazione dell'obliquità della eclittica.

Nel 1842 il Cacciatore, caduto gravemente malato, fu surrogato dal figlio Gaetano (1814-1889), che era stato assistente del padre parecchi anni. La lunga malattia di Nicola Cacciatore e la trascuratezza del Governo fecero decadere l' Osservatorio di Palermo, ad onta degli sforzi del giovane Cacciatore, il quale si limitò alle osservazioni meteorologiche; finalmente arrivò la rivoluzione del 1848, a cui prese viva parte Gaetano Cacciatore; alla ristaurazione dei Borboni Cacciatore fu costretto a battere la via dell'esilio; e nel 1849 fu destinato al suo posto Domenico Ragona (1820-1892), il quale ottenne di andarsi a perfezionare negli Osservatorî di

Germania, ed ottenne pure i crediti necessari per una restaurazione dell'Osservatorio di Palermo. All'estero (1851) il Ragona fece acquisto di parecchi strumenti, coi quali determinò la latitudine dell'Osservatorio, e continuò l'osservazione delle stelle comprese fra 25° e 45° di declinazione sud; l'insieme di tutti questi risultati è stato pubblicato nel *Giornale astronomico e meteorologico di Palermo* (1855-1860). Collezione di 3 volumi.

La rivoluzione del 1860 ricondusse Gaetano Cacciatore al suo antico posto, che conservò fino al 1889. Egli fece subito condurre a termine la cupola del grande equatoriale e fece mettere a posto detto strumento (1865); e, desideroso di pubblicare prontamente le sue osservazioni astronomiche, e volendo anche favorire gli studî astronomici in Sicilia, creò una pubblicazione periodica col titolo di *Bollettino meteorologico del Regio Osservatorio di Palermo,* che sino al 1872 pubblicò un gran numero di Memorie puramente astronomiche.

Sotto la sua direzione e per opera dei suoi aggiunti, di Pietro Tacchini in ispecie, chiamatovi da Modena il 1863, la Specola rinacque a novella vita e riacquistò il lustro primitivo.

Al Cacciatore succedette nel 1889 Annibale Riccò, che diresse l'Osservatorio di Palermo fino al 1891; il quale poi passò a quello di Catania; nel 1891 gli successe Temistocle Zona; e nel 1898 Filippo Angelitti, attuale direttore.

Ora diciamo qualche cosa intorno all'indirizzo di questo Osservatorio: esso fino dalla sua fondazione fu quello principalmente dell'Astronomia di posizione, e fruttò i due Cataloghi del Piazzi, pubblicati nel 1803 e nel 1813. Dal 1865 al 1890 vi si diede uno sviluppo predominante alle ricerche di Astro-fisica. Dopo il 1890, essendosi fondato in Catania un Osservatorio speciale per l'Astro-fisica, l'Osservatorio di Palermo è ritornato, come a suo scopo principale, all'antico indirizzo dell'Astronomia di posizione.

I lavori compiuti nell'Osservatorio, di varia indole, furon pubblicati in varî Atti di Accademie, o in giornali scientifici, e quelli di Astro-fisica specialmente nelle Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani.

Si hanno inoltre le seguenti serie di pubblicazioni speciali dell' Osservatorio:

1° *Della Specola astronomica dei Regi studi di Palermo,* libri I-IX (1794-1826);

2° *Giornale astronomico e meteorologico del Regio Osservatorio di Palermo,* volumi I-III (1855-59);

3° *Pubblicazione del Regio Osservatorio di Palermo,* volumi I-V (1882-93). *La Storia Celeste del Regio Osservatorio di Palermo,* contenente le osservazioni originali del Piazzi; fu pubblicato in 9 volumi dal 1845 al 1849 negli *Annali dell' Osservatorio di Vienna.*

Nell' Osservatorio di Palermo fu scoperto il primo asteroide Cerere dal Piazzi, e la Cometa IV (1890) dal prof Zona.

II. — **Osservatori di Catania e dell' Etna** (1).

Sino dal 1832 esisteva in Catania un Osservatorio meteorologico per opera dell' illustre geofisico professore Carlo Gemellaro; si sentiva il bisogno che sorgesse accanto a questo Osservatorio, uno di Astronomia. Le lezioni di Astronomia teorica erano impartite in Catania fin dal 1788 dal professore Francesco Gambino, allievo del Piazzi; dal 1835 fino al 1848 si fecero, ma invano, vive istanze presso il Governo, perchè si costruisse in Catania un Osservatorio astronomico, e si inviasse il valente matematico professore Giuseppe Zurria ad esercitarsi in Astronomia pratica presso un Osservatorio importante; ma queste proposte non furono accolte; sicchè lo Zurria non potè dare che lezioni teoriche e gratuite dal 1842 al 1844; nel 1845 fu proposto alla cattedra di Astronomia l' insigne astronomo danese Cristiano Enrico Federico Paters (1813-1890), che da tempo risiedeva in Catania, lavorando col Waltershausen al rilevamento topografico dell' Etna, alla

(1) Vedi *Notizie storiche e descrittive dei Regi Osservatori di Catania e dell' Etna fino a tutto il 1903* inviatemi direttamente dal professore Annibale Riccò.

costruzione della grande meridiana del tempio di San Nicola, alla determinazione della latitudine di Catania, ecc., e che, disponendo di alcuni strumenti, avrebbe potuto facilitare l'impianto dell'Osservatorio. Ma neppure questa proposta fu accolta; ed anche nel 1861 il nuovo Governo non volle accettare le diverse proposte che gli furon fatte.

Nel 1871 il professore Tacchini dimostrò al Governo l'utilità di avere una stazione astronomica e meteorologica sull'Etna; e nel 1876 all'Accademia Gioenia di Catania, in una adunanza solenne, propose l'esercizio di un Osservatorio, che incorporasse la *Casa degli Inglesi,* rifugio in forma di capanna, fatta edificare dall'etnologo C. Gemellaro fino dal 1804, il quale fu poi riedificato ed ampliato coi sussidi dati dal personale della flotta inglese, che nel 1811 occupava Catania. La proposta del professore Tacchini fu accolta dal Governo e dagli Enti morali di Catania, e fu incaricato il Tacchini stesso dell'esecuzione del suo progetto e dell'alta direzione dei lavori.

Tosto il Tacchini si rivolse al Merz, per acquistare un modesto obbiettivo di m. 0.16 di apertura; il Merz ne offerse uno di apertura quasi doppia a patti favorevolissimi, che fu acquistato, dando la commissione di una doppia montatura parallattica per la detta lente. I lavori per il nuovo Osservatorio sull'Etna furono iniziati il 10 giugno 1879. Ad un'officina di Palermo fu ordinata una cupola di ferro, che fu messa a posto nel 1880, e vi furono trasportati pure in quell'anno i diversi pezzi componenti la montatura equatoriale.

Per opera pure del professore Tacchini fu, nel 1885, decretata la costruzione di una stazione astronomica in città per preparare il lavoro e proseguire le osservazioni nell'inverno, le quali non si sarebbero potute continuare nell'Osservatorio etneo; questo secondo Osservatorio doveva avere una grande sala rotonda per la montatura equatoriale, eguale all'altra destinata al primo Osservatorio, e locali per uffici e per abitazione degli impiegati; fu pure commessa un'altra cupola girante a Torino.

Nel 1886 il Tacchini, in occasione della presentazione all'Accademia dei Lincei di alcuni saggi di fotografia celeste,

dimostrò che l'Osservatorio di Catania aveva tutte le qualità per divenire un eccellente Osservatorio di astro-fisica, e quindi avrebbe potuto prendere posto all'impresa internazionale, proposta dall' Accademia di Francia, ossia di fare la *Carta fotografica del cielo*. L'idea fu accolta con favore dal Governo, il quale stanziò a questo scopo i fondi necessari. Il Tacchini subito ordinò un obbiettivo fotografico di m. 0.30 di apertura allo Steinheil di Monaco; la relativa montatura equatoriale, con cannocchiale collimatore, al Salmoiraghi di Milano, la cupola girante a Torino, i *châssis* di bronzo e l'apparato per l'ingrandimento diretto delle immagini al Gautier, meccanico dell'Osservatorio di Parigi; fece il progetto di massima di un padiglione per il detto equatoriale fotografico, da costruirsi nel giardino dell'ex-convento dei Benedettini, e così nel 1889 tutto fu condotto a termine.

Essendosi poi reso evidente che l'Osservatorio etneo e quello di Catania, trovandosi in condizioni eccezionalmente favorevoli agli studî della fisica degli astri, dovevano essere destinati all'Astronomia fisica, fu istituita nella Università di Catania una cattedra di *Astrofisica*, alla quale fu chiamato, nello scorcio del 1890, il prof. A Riccò, che da undici anni era l'astronomo aggiunto nell'Osservatorio di Palermo e da due anni incaricato della direzione di esso. Egli fu nominato direttore dell'Osservatorio di Catania e dell'Etna, ed inoltre nel novembre 1890 gli fu affidata la direzione dell'annesso Osservatorio geodinamico dal ministro di agricoltura.

Lavori di costruzione, adattamento e collocazione degli strumenti fatti eseguire dal direttore Riccò dal 1890 in poi:

a) Collocazione del grande cannocchiale refrattore nell'Osservatorio di Catania e dell'uguale nell'Osservatorio etneo.

b) Politura e montatura provvisoria dell'equatoriale minore di Cooke.

c) Progetto di una *Cantoniera meteorico-alpina*.

d) Costruzione dell'Osservatorio fotografico nel giardino.

e) Costruzione di un padiglione nel giardino per l'equatoriale Cooke.

f) Ristauro e riduzione di un chiosco, già esistente nel giardino, per lo strumento dei passaggi.

g) Ristauro e riduzione dei locali destinati alla meteorologia ed alla geodinamica.

Nel 1892 sono compiuti i principali lavori di costruzione e riduzione dei locali e di collocazione degli strumenti; ai primi di luglio 1894 comincia la costruzione a M. Castellazzo della Cantoniera meteorico-alpina, terminati ad ottobre; a novembre vi si collocano gli strumenti meteorologici. Infine si mettono in comunicazione, col telegrafo e telefono, i due Osservatorî fra loro e con l'ufficio telegrafico della città negli anni 1894 e 1898, ecc.

Nel 1899 si sono costruiti due locali, attigui alla casa del custode, per ufficio di misura e calcoli delle fotografie stellari.

Nel 1903 si è costruito un rifugio al principio del *Piano del lago,* sull'Etna.

Locali dell'Istituto astro-fisico della Università di Catania (Osservatorio).

I. Dell'Osservatorio astro-fisico, i locali sono:

a) Grande sala rotonda ove trovasi il refrattore.

b) Uffici e biblioteca; sei ambienti.

c) Abitazione del direttore; sette ambienti.

d) Laboratorio, composto di un andito d'ingresso all'Osservatorio, due camere per la geodinamica e due camere e cucina per l'alloggio del custode.

e) Padiglione per la fotografia celeste; risulta di due ambienti.

f) Padiglione circolare, il quale è composto di una cupola girevole e contiene l'equatoriale Cooke ed un pendolo sidereo.

g) Chiosco dello strumento dei passaggi; questo locale contiene lo strumento dei passaggi per la determinazione del tempo, il cronografo elettrico ed un pendolo sidereo.

h) Casa del custode dell'Osservatorio fotografico; si compone di due camere e locali di servizio.

i) Ufficio di misura e calcoli delle fotografie stellari; consta di due camere, una delle quali contiene gli strumenti di misura (macromicrometro e comparatore).

II. Osservatorio Etneo.

È situato sull'Etna e sorge nella spianata detta *Piano del lago*, all'altitudine di 3274 metri. Consta di due piani: nel primo vi è l'ingresso, la camera per le osservazioni geodinamiche; due camere pel Club alpino, ecc. Nel secondo piano havvi la grande sala rotonda coperta da una forte cupola di ferro girevole di metri otto di diametro; questa sala e tutte le altre camere sono internamente foderate di legname; vi è anche una camera buia fotografica. Nella finestra-balcone vi sono collocati gli strumenti meteorologici, ecc.

III. Osservatorio meteorologico.

Esso trovasi nel piano superiore dell'Osservatorio di Catania e risulta di quattro camere e di una terrazza superiore meteorologica, con tutti gli strumenti necessari.

IV. Osservatorio geodinamico.

Sta nel sotterraneo dell'Osservatorio; si compone di sei ambienti ben areati ed asciutti ed è fornito di tutti gli strumenti occorrenti.

V. Cantoniera meteorico-alpina

In essa l'Osservatorio ha una camera per osservazioni meteorologiche, ecc.

VI. Rifugio Etneo.

È presso il *Castello di Piano del lago* (2500 m.), con esso la salita è divisa in tre tappe, il che rende più sicuri e meno difficili i viaggi invernali, ecc.

Materiale scientifico:

I. Strumenti astronomici.

1. *Cannocchiale refrattore* di Merz, con obbiettivo del diametro di m. 0.34, lunghezza focale m. 5.57, montatura del Cavignato di Padova. Sull'Osservatorio etneo havvi una mon-

tatura eguale a quella del precedente istrumento, con dispositivi tali da potere ad esso applicare prontamente l'uno o l'altro dei due maggiori obbiettivi ottici che l'Osservatorio possiede.

2. *Equatoriale* del Cooke di Dublino, con montatura di tipo inglese moderno; obbiettivo del diametro di m. 0.15, lunghezza focale m. 2.23.

3. *Telescopio a riflessione* sistema Cassegrain, costruito da Sécretan, con specchio di bronzo del diametro di m. 0.13, lunghezza del tubo m. 0.96; con due oculari negativi.

4. *Telescopio* costruito dal Browning di Londra; l'obbiettivo ha il diametro di m. 0.12 e la lunghezza focale di m. 0.83; lo spettroscopio è a visione diretta.

5. *Spettroscopio a diffrazione* di Brassart. *Altra montatura simile* (senza reticola) da applicarsi all'equatoriale dell'Osservatorio etneo.

6. Teodolite di Sécretan — Prisma dei passaggi di Sécretan — Telemetro a prisma di Gautier — Eliostata (sistema Sillermann) di Sécretan — Cannocchiale micrometrico di Rochon a separazione d'immagine per mezzo del biprisma di quarzo di Leitenner e Hinemann di Baviera — Fotometro a cuneo, stampante (sistema Pretchard) — Due orologi astronomici a compensazione a mercurio, ecc., di Cavignato — Due orologi a pendolo con compensazione a sbarre — Tre cronometri di marina, ecc. — Un cronometro da tasca — Un cronografo da tasca — Un cronografo a secco Fuess-Cavignato, ecc.

II. Strumenti fotografici.

1. *Equatoriale fotografico*, con l'obbiettivo del diametro di m. 0.328, lunghezza focale m. 3.46 di Steinheil di Monaco; munito di cannocchiale *collimatore*, con obbiettivo del diametro di m. 0.21 del Salmoiraghi di Milano; lunghezza focale metri 3.18, e micrometro filare. Montatura equatoriale eseguita dal Salmoiraghi secondo il primo tipo inglese (sistema Ramsden).

2. *Telescopio fotografico a riflessione* (coronografo, si-

stema Huggius) di Grubb di Dublino, con specchio di bronzo del diametro di m. 0.08, lunghezza focale m. 1.85, ecc.

3. *Spettroscopio fotografico* di Toepler di Berlino; prisma composto (sistema Rutherfurd); obbiettivo fotografico di metri 0.025, lunghezza focale di m. 0.33.

4. *Macromicrometro,* per misurare le fotografie celesti. del Gautier.

5. *Comparatore* delle grandezze stellari (sistema Henry).

III. Strumenti sismici.

1. *Grande sismometrografo* (sistema Cancani).
2. *Microsismografi Vicentini,* a tre compartimenti, ecc.
3. *Sigmometrografo Brassart,* a tre compartimenti, ecc.
4. *Sigmometrografo Cecchi,* a tre componenti, ecc.
5. *Sigmometrografo a due pendole orizzontali* (sistema Omodei).
6. *Macrosismometrografo* (sistema Agamennone), a tre compartimenti con due pendoli, ecc.
7. *Fotocronografo Cancani.*
8. *Tromometro fotografico Agamennone.*
9. *Tre tromometri* formati da pendoli filari.
10. *Quattro pendoli sismografici.*
11. *Dieci sismoscopi* di varia costruzione.
12. *Sismoscopio Agamennone* a pendolo doppio e contatto elettrico, ecc.
13. *Puteometro registratore.*
14. *Due ascoltatori endogeni* a microfono sistema De Rossi e sistema Magna.

IV. Srumenti meteorologici.

1. *Tre barometri Fortin:* all' Osservatorio di Catania, alla Cantoniera, all' Osservatorio etneo.
2. *Tre psicometri,* id. id. id.
3. *Tre igrometri,* id. id. id.
4. *Tre evaporimetri,* id. id. id.
5. *Tre pluviometri,* id. id. id.

6. *Tre barometri* registratori.

7. *Due registratori:* l'uno della temperatura a pressione (Richard), l'altro della temperatura, pressione ed umidità, costruito nell' officina dell' Osservatorio, destinati entrambi all' Osservatorio etneo.

8. *Un anemometro registratore.*

9. *Un eliofanometro.*

10. *Un attinometro,* sistema Arago.

11. *Apparato registratore* della elettricità atmosferica con la fotografia (sistema Mascart).

12. *Apparato registratore* delle scariche elettriche atmosferiche (sistema Roggio-Lera).

13. *Due serie di tre geotermometri.*

14. *Due aneroidi* da viaggio.

15. *Collezione di termometri.*

V. Vi è un laboratorio con un tornio Stoeckichit completo ed una numerosa collezione di arnesi, e serve a riparare gli strumenti dei diversi Osservatorî.

VI. Una biblioteca con circa 1700 volumi ed opuscoli e 26 pubblicazioni periodiche.

VII. Corrispondenti dell'Osservatorio: esso manda le sue pubblicazioni e le riceve da n. 111 Osservatorî, n. 131 Accademie, n. 70 Istituti scientifici nostrani e stranieri, e da persone private n. 120.

VIII. Personale dell'Osservatorio. Otto persone: direttore, due assistenti, un meccanico, un inserviente ed un custode dell' Osservatorio etneo; assistente ed inserviente per la geodinamica; inoltre di sei straordinari per la fotografia celeste, e cioè: assistente, tre misuratori delle fotografie celesti, due calcolatori.

Osservazioni e studî.

1. Le osservazioni sismiche furon fatte all' Università fino al 1890, e poi all'Osservatorio dal 1891 ad oggi.

2. Al 1° dicembre 1891 si sono incominciate le osservazioni regolari di meteorologia.

3. Al 1° gennaio 1892 si sono incominciate le osservazioni quotidiane delle macchie, facole e protuberanze solari.

La determinazione del tempo nel decembre 1890 fu fatta con la grande meridiana costruita da Peters e Waltershausen; nel 1891 sino al 1892 si fece col prisma dei passaggi di Salleron, e dal 1893 in poi si fa con lo strumento dei passaggi.

Nel marzo 1893 si sono fatte le prime fotografie celesti.

Nell'aprile 1894 si fa uno studio completo del manomicronometro del Gautier, che si trova perfettissimo.

Nel 1895 si applica all'equatoriale fotografico il micrometro di Gautier; nel 1896, essendo tutto a posto, si fanno nella primavera alcune fotografie della zona nostra, le quali furono presentate dal direttore al Congresso di Parigi nel maggio dello stesso anno.

Nel giugno successivo il lavoro fu ricominciato coi criteri più sicuri e precisi, che si era formato il prof. Riccò, in occasione di detto Congresso.

D'allora in poi il lavoro è proceduto alacremente. Il Ministero della istruzione, secondo i voti del direttore dell'Osservatorio e del Congresso stesso, accordava, nel 1899, i mezzi per eseguire le misure delle fotografie celesti col macromicrometro, e nel 1901 dava i mezzi per eseguire le riduzioni e calcoli onde ricavarne un catalogo stellare.

Lavori e pubblicazioni.

I principali lavori scientifici fatti nell'Osservatorio riguardano:

1. La fisica del Sole e della sua corona, di Saturno, di Venere.

2. Lo studio fisico e fotografico di varie eclissi di luna.

3. Le fotografie della zona di cielo assegnata a Catania: n. 1008 per il catalogo, di cui misurate n. 371 con n. 76,360 stelle, cui si debbono aggiungere circa altre 300 fotografie di stelle, nebulose, comete, ecc., e 115 fotografie fatte per prova a controllo degli strumenti fotografici.

4. La determinazione della latitudine e della longitudine dell'Osservatorio.

5. Studi sopra varii metodi di proiezioni in cartografia.

6. La risoluzione dei grandi triangoli geodetici.

7. I metodi di Astronomia sferica e nautica per la determinazione speditiva delle coordinate geografiche.

8. La determinazione della intensità relativa della gravità in 13 luoghi di Sicilia e Calabria.

9. Diversi studi meteorologici di Catania e dell' Osservatorio etneo e dei mari Adriatico e Jonio.

10. L' irradiazione del Sole e l'assorbimento atmosferico.

11. Studi geodinamici di varii terremoti di Sicilia e Calabria.

12. Studi delle varie manifestazioni dell' attività endogena in Sicilia ed isole adiacenti.

13. Studi sull' eruzione dello Stromboli, Pantelleria e dell' Etna.

14. Relazione sulla eruzione dell' Etna nel 1892, vol. I. Storia e descrizione.

Questi lavori costituiscono 304 Note o Memorie, pubblicate dal 1890 al 1903.

Uffici speciali dell' Osservatorio di Catania.

È una delle 18 stazioni internazionali per la *Carta fotografica del cielo,* ed il direttore è membro del relativo Comitato internazionale.

Nell' Osservatorio di Catania si pubblicano le *Memorie della Società degli Spettroscopisti italiani;* in esso sono depositati gli strumenti astronomici e fisici, appartenenti alla Società medesima.

Nell' Osservatorio stesso è collocata la biblioteca della Società, formata principalmente di opere moderne di Astronomia fisica.

L' Osservatorio di Catania è centro di 33 stazioni sismiche della Sicilia e delle isole adiacenti.

Osservatorio astronomico di Capodimonte in Napoli (1).

L'origine dell' Osservatorio astronomico è collegata con la creazione della Cattedra di Astronomia nella Università, avvenuta nel 1735 sotto il re Carlo III, allorchè era ministro Tanucci.

L'astronomo Felice Sabatelli, che occupava la Cattedra di Astronomia, più volte insistè presso il Governo, ma inutilmente, per l' impianto di un Osservatorio; poi Giuseppe Cassella, professore di Astronomia nautica, della R. Marina, regnante Ferdinando I, potè vedere finalmente accolta la sua domanda dal Governo, il quale, nel 1791, permise la fondazione di un Osservatorio astronomico presso il R. Museo. Per le vicende politiche, che tennero il Re lontano da Napoli (1798-1799) e durante la dominazione francese (1806-1815), non si poterono gettare che le fondamenta del nuovo Osservatorio. In questo tempo il Cassella non si perdè di animo e potè ottenere, col decreto del 29 gennaio 1807 di Giuseppe Bonaparte, la concessione del Belvedere del Monastero di S. Gaudioso sul colle di S. Agnello, per impiantarvi l' Osservatorio, ove egli fece le osservazioni della cometa del settembre 1807; morì nel 1808.

Morto il Cassella, dietro istanza della R. Accademia, il Governo di Murat inviò, nel 1809, il giovane Federico Zuccari a Milano, onde perfezionarsi colà negli studi Astronomici; e nel 1812 lo Zuccari fu nominato professore di Astronomia della Università e direttore dell' Osservatorio di S. Gaudioso, esistente solo di nome, dopo la morte del padre Ferdinando Messia da Prado, successore del Sabelli nella Cattedra e del Cassella nell' Osservatorio.

Lo Zuccari portò seco da Milano alcuni strumenti, che impiantò in locali appositi sulla terrazza di S. Gaudioso,

---

(1) Vedi: *Cenni storici del R. Osservatorio di Capodimonte in Napoli*, del dott. Francesco Contarino. Torino, 1900.

ove, insieme con l'abate Capuccini, fino al 1815 e da solo fece molte osservazioni.

Intanto la R. Accademia fece rimostranze al Governo per la insufficienza e la instabilità dell'Osservatorio di S. Gaudioso dimostrando la necessità di un nuovo e grandioso Osservatorio moderno; ed infatti il Governo assegnò a questo scopo un capitale di lire 127,400, ed il giorno 4 novembre 1812 fu gettata la prima pietra dell'attuale Osservatorio, posto sulla cima della collina di Capodimonte, che si erge sul livello del mare per 154 metri. L'edifizio fu ideato dallo Zuccari; l'architetto Stefano Gasse ne diresse la costruzione; gli strumenti furono ordinati al celebre artefice Reichenbach di Monaco di Baviera. L'impianto dell'Osservatorio doveva essere ultimato per la fine del 1815; ed infatti nel febbraio di quell'anno erano arrivati gli strumenti, lo stesso fabbricante Reichenbach e lo astronomo von Zach di Gotha, invitato dal Governo a dirigerne l'impianto; ma i lavori di fabbrica non erano stati compiuti e le vicende politiche non ne permisero la continuazione; sicchè Zach e Reichenbach ripartirono per la Germania.

Fino al 1817 i lavori, ritornato Ferdinando I, progredirono lentamente; in quest'anno il Re invitò Giuseppe Piazzi, direttore dell'Osservatorio di Palermo, a dare il proprio parere sul già fatto e sul da farsi per l'Osservatorio di Capodimonte. L'intervento del Piazzi nello impianto dell'Osservatorio contribuì grandemente alla riuscita della impresa; la quale fu condotta a termine nel 1820. Morto lo Zuccari (15 dicembre 1817), fu nominato, per volere del Piazzi, nel 1818, a direttore del nuovo Osservatorio Carlo Brioschi (1785-1833) di Milano; ma giunse a Napoli nel 1819. Sua prima cura fu di mettere a posto gl'istrumenti acquistati in Germania dietro i consigli e per le premure del barone Zach. Questi istrumenti consistono in due altazimut coi circoli verticali ripetitori, un equatoriale, un circolo meridiano ed uno strumento dei passaggi; essi furon costruiti da Reichenbach e Utzschneider di Monaco nell'anno 1814, e destinati a misure assolute. Vi era anche un equatoriale di Reichenbach e Fraunhofer di tre metri di distanza focale per osservazioni astronomiche e differenziali, cinque orologi a pendolo compensatori ed

altri istrumenti di minore importanza geodetici e meteorologici.

Il Brioschi incominciò le sue osservazioni ai circoli ripetitori delle distanze zenitali meridiane di undici stelle principali e del Sole nell'anno 1819, e le seguitò negli anni successivi 1820 e 1821. Pubblicò il primo volume dei *Commentari astronomici della Specola reale di Napoli* (1824-1826), il quale contiene la descrizione della Specola e degli strumenti di cui era fornita, uno studio accurato dei circoli ripetitori, risultato delle osservazioni astronomiche, ecc. Il Brioschi trovò una formola per rappresentare l'effetto della rifrazione. e costruì una tavola per determinarla con le costanti ottenute dalle proprie osservazioni. Mediante le osservazioni del 1820 tentò di risolvere i problemi più difficili dell'astronomia pratica, tra i quali la costante principale della rifrazione, quella dell'aberrazione, la correzione delle tavole solari, il valore della latitudine di Capodimonte, e la indagine sulla variabilità di essa nel periodo di 300 a 320 giorni del Legendre. Il Brioschi si dedicava anche al lavoro meccanico; infatti fabbricò due orologi a pendolo compensati.

Morto il Brioschi, fu nominato direttore dell'Osservatorio Ernesto Capocci (1798-1864); vi era entrato fino dal 1821; vi fu direttore dal 1833 al 1848; e poi dal 1860 al 1864. Egli era stato avviato negli studi astronomici da suo zio Zuccari, e sin dal 1816 aveva pubblicato osservazioni astronomiche e mostrato le sue attitudini all'Astronomia teorica, tanto che lo Zanch lo chiama l'*Encke italiano*. In quest'epoca era secondo astronomo Antonio Nobile (1794-1863) ed assistente Leopoldo Del Re (1805-1872), il quale dal 1850 al 1860 sostituì il Capocci nella direzione dell'Osservatorio; la sua opera scientifica fu assorbita dal Brioschi, dal Capocci e dagli altri astronomi. Il Nobile, di debole salute, non potè dedicarsi con lena ad un lavoro scientifico intenso; tuttavia, scienziato distinto, acuto osservatore e di gran dottrina seguitò le osservazioni meteorologiche iniziate dal Brioschi, fece (1840-1841) le osservazioni per determinare le costanti delle maree nel golfo di Napoli, su cui pubblicò una Memoria nei *Rendiconti della R. Accademia delle scienze,* determinò, con la

osservazione delle stelle cadenti, le differenze di longitudine fra diversi luoghi, ecc. Il Capocci ci ha lasciato la diciottesima ora delle carte celesti, lavoro di una certa importanza; inoltre egli ha osservato e calcolato le orbite di parecchie comete, e particolarmente delle comete IV, 1825; V, 1726; I, 1843, e pubblicato parecchie Note sull'anello di Saturno e sulle macchie solari. Sin dal 1843 il Capocci si era imposto il cómpito di rendere popolari le nozioni astronomiche ed alcuni suoi lavori umoristici, come il suo *Viaggio nella Luna*, lo distrassero a poco a poco dall'Osservatorio; studiò il magnetismo terrestre (1840-1841); pubblicò notizie astronomiche nel Calendario della R. Specola di Capodimonte, un *Commentario sulla cosmografia della Divina Commedia*; delle indagini sulla resistenza dell'etere e sulla luce delle comete fatte nel ritorno dal 1832 della cometa periodica di Biela, ecc. Il Capocci fece delle modificazioni agli strumenti dell'Osservatorio; mise a posto e modificò (1834) l'equatoriale di Fraunhofer, che poi cedette all'Osservatorio della R. Marina, ed ora trovasi nel R. Ufficio idrografico di Genova; nel 1863 dal ministro Matteucci ottenne di fare acquisto di un cannocchiale da sostituirsi a quello di Fraunhofer, che fu costruito dal Merz di Monaco; inoltre avviò allo studio dell'Astronomia Annibale De-Gasperis, cui conferì il posto di alunno nel 1840; dette adito nell'Osservatorio a C. H. F. Peters dal 1840; e nel 1843 nominò alunno il professore Emanuele Fergola.

Il Peters impiantò nell'Osservatorio il declinometro magnetico di Gauss e vi fece osservazioni della declinazione e della inclinazione; lavorando all'equatoriale del Reichenbach scoprì due comete: l'una, il 7 febbraio 1845 e l'altra il 26 giugno 1846, e pubblicò nelle *Astronomische Nachrichten* diverse osservazioni di pianeti, di comete e di occultazioni fatte a Capodimonte; per ragioni politiche dovette allontanarsi dal regno di Napoli; si recò poi in America, ove ebbe la direzione dell'Osservatorio di Clinton.

Al Capocci successe (1864) nella direzione dell'Osservatorio Annibale De-Gasparis (1819-1872), della cui opera astronomica abbiamo già discorso nella prima Appendice. Sotto la sua direzione venne sostituito al cannocchiale di Fraunho-

fer e Reichenbach il cannocchiale di Merz; fu fatta una nuova montatura pel primo, che restò incompleta fino al 1899; e s'impiantò un equatoriale di Dollond, donato nel 1878 all'Osservatorio da Giorgio Bishop; nel 1871 acquistò un cerchio meridiano di prim'ordine del Repsold di Amburgo, che fu impiantato nel 1874; fu modernizzato l'antico cerchio di Reichenbach e Utzschneider; corredò l'Osservatorio di tre cronografi di Hipp, di un pendolo e quattro cronometri di Frodschm, di termografi e barografi di Hipp e di Richard e di altri strumenti meteorologici.

Alla morte del De-Gasparis (2 marzo 1892) fu nominato direttore dell'Osservatorio il secondo astronomo Emanuele Fergola (nato in Napoli il 1830), il quale era entrato nella Specola fino dal 1849. Nel tempo della direzione del De-Gasparis tra i principali lavori del Fergola vi sono: 1° i più probabili elementi dell'orbita di Elio (1865); 2° la differenza di longitudine fra Napoli e Roma (1871); 3° nuova determinazione della latitudine dell'Osservatorio di Capodimonte (1872); 4° la posizione dell'asse della Terra rispetto all'asse di figura (1874); 5° le dimensioni della Terra e ricerca della posizione del suo asse di figura rispetto a quello di rotazione (1875); 6° le posizioni apparenti di alcune stelle dell'Eridano (1877); 7° le osservazioni di Marte (1879 e 1880), due Memorie.

Anche gli astronomi aggiunti Arminio Nobile e Filippo Angelitti in quest'epoca fecero importanti lavori, dai quali si rileva che l'Osservatorio di Capodimonte dava importanti contributi alla scienza astronomica.

Il Fergola apportò importanti miglioramenti tanto al fabbricato dell'Osservatorio, quanto ai diversi strumenti, coadiuvato dal valente meccanico Moreno; nel 1892 egli fece acquisto di uno strumento zenitale di Wannschaff, che servì per determinare la variazione della latitudine a Napoli, ecc.

L'Osservatorio astronomico di Modena (1).

Nel 1818 Francesco III, duca regnante, volle fondare a Modena un Osservatorio astronomico, e chiamò dalla Specola di Milano l'astronomo modenese Giuseppe Bianchi (1791-1866). Il Bianchi scelse a base del nuovo Osservatorio la torre orientale del palazzo ducale, che presenta alla sommità un'area quadrata di 10 metri di lato, e di cui le mura, all'altezza di 30 metri, conservano ancora uno spessore di un metro e mezzo. La coprì con una robusta vôlta, e sovr'essa edificò una sala meridiana per un circolo di Reichenbach con cannocchiale di mm. 108 di apertura e m. 1.62 di lunghezza focale, ed una stanza coperta di cupola emisferica girante per un equatoriale con cannocchiale di Amici, largo mm. 60, e munito di micrometro oculare a doppia immagine, invenzione dell'Amici stesso.

Questa invenzione dell'Amici va ricordata nella storia dell'Astronomia, poichè essa risolve, con una disposizione oculare, il problema stesso che si proposero di risolvere per diverse vie Dollond e Fraunhofer; il primo, dividendo una lente in due parti, applicandola avanti all'obbiettivo, e producendo così il micrometro detto obbiettivo; il secondo, osando di togliere secondo un diametro l'obbiettivo stesso, e dando così origine all'eliometro, strumento di molta precisione e portato ultimamente a grandissima perfezione dai Repsold di Amburgo.

Agli strumenti, a poco a poco acquistati e raccolti in Modena, potè il Bianchi incominciare nel 1829 le sue osservazioni, senza dichiararsene mai appieno soddisfatto, attribuendo ad essi difetto di precisione, di stabilità, di potenza ottica. Sfiduciato, preferì, nel 1858, passare alla Specola privata di Montecuccoli, abbandonando quella da lui fondata, e della

---

(1) Alcune *notizie* mi furon fornite direttamente dal chiarissimo prof. Ciro Chistoni.

quale assunse, nel 1859, la direzione l'astronomo Pietro Tacchini; egli non vi rimase a lungo, poichè nel 1863 accettò il posto di astronomo alla Specola di Palermo, cedendo al palermitano Domenico Ragona-Scinà (1820-1892) la direzione di quella di Modena. Non era questa Specola, per quel che riguarda l'Astronomia, assurta a grandi destini, poichè il Ragona stesso finì per indirizzarla più specialmente a ricerche di Meteorologia e di Geografia fisica, e lui morto nel 1892, gli successe il professore Ciro Chistoni, il quale non credette punto mutarne l'indirizzo.

Dal 19 luglio 1897 l'Osservatorio è stato chiamato geofisico. In esso il Chistoni ha iniziato una serie di pubblicazioni, che comprendono i lavori che si sono eseguiti in questo Istituto; l'ultima pubblicazione porta il n. 16 ed è del 1903.

Il lavoro più importante, e che ora si sta eseguendo in questo Osservatorio geofisico, è quello delle misure pireliometriche. Tali misure, da anni, vengono eseguite a Modena, a Sestola, ed al Monte Cimone. Alcuni dei risultati ottenuti sono stati pubblicati nei *Rendiconti della Regia Accademia dei Lincei*.

Osservatorî astronomici minori e privati.

I. *Osservatorio del Museo di Firenze*. Portati ad Arcetri gli strumenti astronomici, l'antico Osservatorio del Museo si trasformò in Osservatorio meteorologico, ed anche oggi come tale esiste.

II. *Osservatorio Ximeniano di Firenze*. Notevolissimo è questo Osservatorio Ximeniano delle Scuole Pie, illustrato durante la prima metà del secolo XIX dai lavori del celebre padre Giovanni Inghirami (1779-1851), che fu l'autore principale della triangolazione e della carta della Toscana, diretto per molti anni, a partire dal 1872, dal padre Filippo Cecchi (1822-1882) ed oggi dal padre G. Giovannazzi.

III. *Ercole Dembowski e i suoi Osservatorî*. Il barone Ercole Dembowski (nato a Milano nel 1812, morto ad Albiz-

zate nel 1881) non ebbe mai carica di astronomo ufficiale; ma egli è stato uno dei primi astronomi pratici del secolo XIX. Visse e lavorò come astronomo indipendente e privato, con istrumenti propri, in Osservatorî da lui edificati. Passò la prima parte della sua vita come ufficiale della marina austriaca; a 31 anni, nel 1843, diede le proprie dimissioni, si stabilì a Napoli, e, libero oramai da ogni impegno ufficiale, si diede a completare in varie direzioni la sua istruzione scientifica e letteraria, alla quale i suoi obblighi militari non avevano per l'addietro concesso di dare un grande sviluppo.

Prese ad occuparsi con passione di cose astronomiche, strinse intima relazione con Antonio Nobile (1794-1863), astronomo a Capodimonte, fece acquisto di un cannocchiale dialite di mm. 135 di apertura, costrutto da Simone Plössl, di Vienna, e con esso si stabilì nel borgo di San Giorgio a Cremano presso Napoli, costruendosi, col semplice aiuto di intelligenti operai del luogo, la montatura equatoriale del Plössl ed una piccola specola. Ivi incominciò, alla fine del 1851, le sue misure sulle stelle doppie, e con lo stesso strumento le continuò fin dopo la metà del 1858.

IV. *Osservatorio privato di Colluriana presso Teramo* (proprietà del dott. Vincenzo Cerulli). Nell'autunno dell'anno 1893 fu determinata la latitudine boreale 42° 29′ 27″ di questo Osservatorio, ed è media di 10 valori ben concordati, ottenuti col processo Talcott. Nel 1899, il prof. Boccardi ha studiato la latitudine di Colluriana al zenith-telescopio, confermando pienamente questo valore come *massimo di autunno*. Nel 1894, fu determinata la longitudine di Berlino in 1^m 21^s est col metodo delle culminazioni lunari, in corrispondenza con Roma (Collegio romano).

Gli strumenti attuali, sono:

1° *Telescopio rifrattore* di Cooke and Sons (York-Inghilterra). Apertura libera centimetri 39.4; distanza focale metri 5.91 (15 volte l'apertura libera = m. 6.72), lunghezza totale del tubo, compresa la parte al di là dell'obbiettivo. Appartengono a questo strumento: un micrometro bifilare di Grubb con illuminazione elettrica dei fili in campo scuro; uno spettroscopio a cinque prismi, grande modello, di Browing;

una serie di oculari negativi dall'amplificazione di 80 diametri a quella di 1500; una camera fotografica per fotografie lunari. Il refrattore è eretto su un pilastro isolato dal resto della muratura e fondato a parte. La camera dell'istrumento è circolare (m. 8.64 diametro interno) e sormontata da una cupola girevole di Cooke. L'armatura della cupola è in ferro, la copertura in cartapesta (sistema adottato anche dall'Osservatorio di Greenwich). Lo sportello della cupola abbraccia più di uno spicchio sferico, in modo che il telescopio può essere puntato anche allo zenith.

2° *Telescopio zenitale* di Troughton e Simmes di Londra. Grande modello. Apertura libera uguale mm. 772. L'istrumento porta un circolo azimutale finamente diviso, letto da 2 microscopii diametralmente opposti; diametro del circolo diviso mm. 284.

3° *Regolatore Riefler,* battente il secondo siderale; scappamento, sospensione del pendolo, e compensazione in mercurio, tutto secondo il sistema Riefler. Registrazione elettrica dei secondi al cronografo.

4° *Pendolo Kittel,* che batte i mezzi secondi, ed è anche munito di contatto elettrico.

5° *Cronografo* a striscia, di Fuess.

6° *Cronometro di marina,* di Barraud. Segna il tempo medio e batte i mezzi secondi.

Nella primavera del 1900, fu montato nel nuovo fabbricato chiamato « la Specoletta » adiacente alla Specola principale.

7° *Euriscopio* di Cooke. Camera fotografica con lente obbiettiva di cm. 16, distanza focale 1 metro. Come telescopio direttore dell'Euriscopio, funziona provvisoriamente il

8° *Cercatore di comete,* di Salmoiraghi. Apertura libera cm. 15, distanza focale m. 1.80.

I lavori fatti in questo Osservatorio privato sono:

a) Posizione di comete e pianeti (astr. Nachrichten).

b) Posizioni di satelliti.

c) Misure di stelle doppie.

d) Determinazione di latitudine.

e) Osservazioni fisiche di Venere (astr. Nachrichten).

f) Osservazioni fisiche di Marte (pubblicazione n. I di Collurania).

g) Calcoli di orbite (pubblicati in parte nell'*Astronomische Nachrichten*).

L'Osservatorio di Collurania funziona dall'autunno 18[illegible].

V. *Osservatori diversi*. Altre Specole minori e [illegible] si hanno in Italia, o ufficiali o appartenenti a Corporazioni diverse, e sono:

a) La importante e nota Specola dell'Ufficio idrografico della marina a Genova.

b) La Specola del collegio reale Carlo Alberto a Moncalieri.

c) Gli Osservatori dell'Istituto nautico e del Seminario patriarcale a Venezia.

La Luna. Da una fotografia presa all'Osservatorio di Lick.